

9/89

202

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Departement : HYDRAULIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du diplôme d'Ingenieur d'Etat

S U J E T

ETUDE D'UNE STATION DE POMPAGE
D'EAU POTABLE
(Barrage de BOUKOURDENE).

6 PLANCHES

Proposé par :
Mr TAGUE Zade

Etudié par :
Mr LAKHDARI A.
Mr NEMMAR B.

Dirigé par :
Mr TAGUE Zade
Mr BELHADJ.

PROMOTION :
Juin 1989

ÉCOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

DEPARTEMENT

Departement : HYDRAULIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

PROJET DE FIN D'ETUDES

Pour l'Obtention du diplôme d'Ingenieur d'Etat

S U J E T

ETUDE D'UNE STATION DE POMPAGE
D'EAU POTABLE
(Barrage de BOUKOURDENE).

Proposé par :
Mr TAGUE Zade

Etudié par :
Mr LAKHDARI A.
Mr NEMMAR B.

Dirigé par :
Mr TAGUE Zade
Mr BELHADJ.

PROMOTION :
Juin 1989

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

Ecole Nationale Polytechnique

Departement: Hydraulique

Promoteur: TAGUÉ ZADE

Elèves Ingénieurs: LAKHDARI - NEMMAR

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

مصلحة :

وجه :

تلميذ مهندس :

الموضوع : دراسة محطة ضخ المياه الصالحة للشرب .
الملخص : تعالج هذه الأطروحة محطة ضخ المياه الصالحة
للشرب من سد بو كردان .
أهم النقاط المعالجة هي موضع المحطة ، القنود الكهروميكانيكي ،
التسيير الآلي والوقاية ضد صدمة الدفع باستعمال خزان هوائي .

SUJET: Etude de la station de pompage d'eau potable.

RESUME: L'objet de cette thèse est l'étude de la station de pom-
-age du barrage de Boukourdène.

L'Emplacement de la station, l'équipement électromécanique,
l'automatisation ainsi que la protection, contre le coup de belier
par un réservoir d'air, sont les principaux éléments étudiés.

SUBJECT: Design of the pumping station for the distribution of drinking water

ABSTRACT: The Objective of the project is to study the design of pump-
-ing station from the Boukourdène reservoir.

The location of the station, the electromechanical equipment,
automatisation of the installations as well as the protection of
the equipment against water hammering through a reservoir of air,
have been studied for the design of the station.

DEDICACES

المدسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Je dedie ce modeste travail en signe de reconnaissance :

- A mon père et à ma mère .
- A mes frères et soeurs .
- A Kahira , Ghiles et Amine .
- A toute ma famille .

B.NEMMAR

Je dedie ce modeste travail en signe de reconnaissance :

- A mes parents qui ont tant fait pour me voir ainsi .
- A mes frères et soeurs .
- A mon Oncle le poète MOHAMED LAKHDAR SAYHI .
- A MOHAMED LAZHAR et BADREDDINE .
- A tous mes amis .

A.LAKHDARI

REMERCIEMENTS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement :

- Nos promoteurs Messieurs TAGUE ZADE et BELHADJ qui nous ont aidés et dirigés pour l'élaboration de ce travail.
- Nos remerciements vont également à Mademoiselle BENMAMAR pour sa disponibilité, et aux ingénieurs de l'ENHyD, Messieurs SEHBOUB et KOTOV pour leur collaboration, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin.
- Enfin tout notre respect aux membres du jury.

Conjointement :

AbdelKrim et Boudjema

SOMMAIRE

| | Pages |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| CHAPI : Generalites | |
| I.1 Introduction | 1 |
| I.2 Situation Geographique | 1 |
| I.3 Climatologie | 1 |
| I.4 Topographie | 1 |
| I.5 Besoins en eau | 2 |
| I.6 Reservoirs | 2 |
| CHAP II: Emplacement de la station | |
| II.1 Critères de choix | 3 |
| II.2 Choix des sites | 3 |
| II.3 Etude technico-economique | 5 |
| II.3.1 Etapes de calcul | 5 |
| II.3.2 Calcul du diamètre economique | 9 |
| II.3.3 Conclusion | 15 |
| CHAP III: Reservoir tampon | |
| III.1 Reservoir tampon - Reservoir Tipaza | 17 |
| III.2 Reservoir tampon - Reservoir ChercheLL | 18 |
| CHAPIV: Equipements de la station | |
| IV.1 Choix des pompes | 20 |
| IV.1.1 Constitution d'une pompe Centrifuge | 20 |
| IV.1.2 Classification des pompes Centrifuges | 21 |
| IV.2 Influence des caracteristiques des pompes Sur leur exploitation | 21 |

| | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|----|
| IV.3 | Couplage des pompes | 24 |
| IV.4 | Adaptation des pompes sur un reseau | 25 |
| IV.5 | Choix des Variantes | 28 |
| IV.5.1 | Etude des Variantes | 28 |
| IV.6 | Moteurs d'entrainement | 39 |
| IV.6.1 | Choix du moteur electrique | 39 |
| IV.6.2 | Secours en energie | 40 |
| IV.7 | Equipements hydrauliques | 42 |
| IV.7.1 | Equipements d'aspiration | 42 |
| IV.7.2 | Equipements de refoulement | 43 |
| CHAP V: Coup de belier | | |
| V.1 | Definition | 46 |
| V.2 | Origines du phénomène | 46 |
| V.3 | Analyse physique du phénomène | 46 |
| V.4 | Moyens de protection | 47 |
| V.5 | Calcul du reservoir d'air | 49 |
| V.5.1 | Principe de calcul | 49 |
| V.5.2 | Etapes de calcul | 52 |
| V.5.3 | Interpretation | 61 |
| V.6 | Dimensionnement de la Cuve | 61 |
| CHAP VI: Installation des pompes | | |
| VI.1 | Amorçage | 64 |
| VI.2 | Cavitation | 64 |
| VI.2.1 | Charge nette à l'aspiration | 65 |

CHAP VII: Aménagement de la station

| | | |
|---------|--------------------|----|
| VII-1 | Bâche d'aspiration | 71 |
| VII-1.1 | Forme de la bâche | 71 |
| VII-1.2 | Dimensionnement | 71 |
| VII-2 | Salle des machines | 74 |

CHAP VIII: Automatisation

| | | |
|--------|--------------------------|----|
| VIII-1 | Introduction | 76 |
| VIII-2 | Liaison bâche - Moteur | 76 |
| VIII-3 | Liaison Moteur-Reservoir | 77 |
| VIII-4 | Capteurs | 78 |
| VIII-5 | Mise en route du groupe | 78 |

CHAP IX: Conclusion

| Tableau des planches | |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Planche N° 1 | Profil en long Station de pompage - Reservoir tampon (SP - RT) |
| N° 2 | Profil en long Reservoir tampon - Reservoir Tipaza (RT - R1) |
| N° 3 | Profil en long Reservoir tampon - Reservoir cherchell (RT - R2) |
| N° 4 | Salle des machines (coupes) |
| N° 5 | Bâche d'aspiration (coupes) |
| N° 6 | plan de situation. |

I-1 INTRODUCTION :

Le développement rapide des centres urbains appelle une mobilisation conséquente des ressources en eau.

Les villes de Tipaza et de Cherchell auront un déficit d'approvisionnement en eau à partir de l'an 2010, ce déficit connaîtra un accroissement rapide dans les années futures, d'où la nécessité d'exploiter une nouvelle source.

C'est dans ce cadre que se situe notre présente étude, où l'on est appelé à faire l'étude de la station de pompage qui va permettre l'alimentation des villes citées ci-dessus à partir du barrage de Boukourdène qui est en cours de réalisation.

I-2 SITUATION GEOGRAPHIQUE :

Le site du barrage de Boukourdène se termine sur l'oued el-Hachem.

Le barrage se situe à 1300 m du Village de Sidi Ammar, et à environ 7 km en nord ouest de Menaceur (Wilaya de Tipaza).

I-3 CLIMATOLOGIE :

Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par un été chaud et un hiver doux et humide.

Température moyenne en été est de 28 à 38 de mai à septembre.

Température moyenne en hiver est de 15 à 25 d'octobre à avril.

Pluviométrie annuelle : 780 mm

I-4 TOPOGRAPHIE :

En se référant à la carte topographique, on remarque que les points les plus hauts sont situés à l'aval du barrage, puis le terrain descend graduellement du sud vers le nord.

I-5 BESOINS EN EAU:

L'étude faite par le service AEP de L'ENHYD estime qu'un débit de 400 l/s couvrira largement la demande en eau des agglomérations concernées pour l'horizon futur 2030.

Le bilan des apports pour chaque ville est le suivant :

Tipaza : 150 l/s

Cherchell : 250 l/s

I-6 RESERVOIRS:

Les réservoirs servent à régulariser l'apport d'eau, la consommation variable dans les différentes heures de la journée, ainsi que la pression dans le réseau de distribution.

En conséquence, les réservoirs jouent un rôle très important qui permet d'assurer aux heures de pointe les débits maximaux demandés et combattre efficacement les incendies.

Les volumes des réservoirs existants et projetés des deux villes sont donnés dans le tableau suivant :

| Villes | Volumes totaux des réservoirs existants (m^3) | Volume totaux des réservoirs projetés (m^3) | Côte du Trop-plein des réservoirs projetés (m) |
|-----------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Tipaza | 3500 | $R_1 = 3000$ | 135 |
| Cherchell | 6300 | $R_2 = 2000$ | 78,1 |

Les deux réservoirs sont projetés pour l'an 2010.

CHAP II EMBLACEMENT DE LA STATION

II-1 CRITÈRES DE CHOIX :

L'eau est acheminée vers les réservoirs R_1 et R_2 , respectivement de Tipaza et Cherchell, à partir d'un réservoir tampon qui est alimenté par refoulement à partir de la station de pompage.

L'emplacement de cette dernière (y compris la station de traitement) doit être choisi de manière à :

- Avoir un écoulement gravitaire jusqu'à la station de traitement pour éviter le pompage d'eau brute.

- Avoir une étendue suffisante pour les deux stations, celle-ci ne doit pas demander de gros travaux de terrassement.

- Avoir une longueur de refoulement la plus courte possible vers un réservoir de mise en charge, pour permettre une distribution gravitaire de l'eau.

- Avoir une hauteur géométrique convenable.

II-2 CHOIX DES SITES :

Sur la carte d'état major (E: 1/10.000), on a localisé trois sites pouvant contenir la station.

Site A : Au pied aval du barrage ($cr = 70m$).

Site B : Avant l'intersection BOIS SACRÉ ($cr = 40m$).

Site C : Au nord Est de SIDI AMMAR ($cr = 60m$).

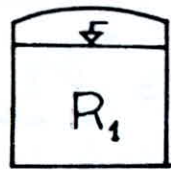
On justifie ce choix comme suit :

Site A : Il présente l'avantage d'éviter le pompage de l'eau brute, il donne aussi la possibilité d'implanter le réservoir tampon à une côte ($cr = 180m$) permettant une alimentation gravitaire, mais le refoulement est relativement long (2700 m).

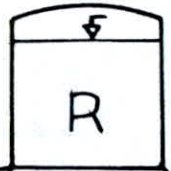
Site B : Il présente les mêmes avantages que le site A, et le refoulement est relativement court (530 m).

SCHEMA GENERAL DE L'INSTALLATION

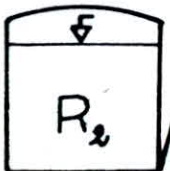
RESERVOIR
DE
TIPAZA



RESERVOIR
TAMPON



4



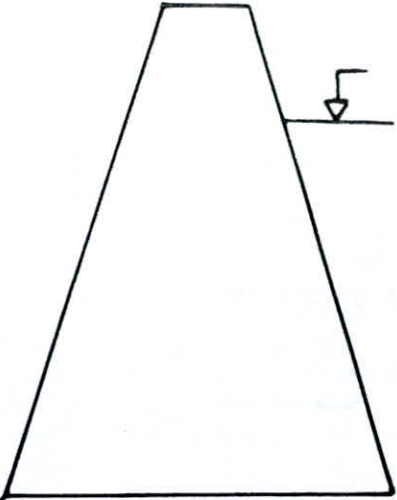
RESERVOIR
DE
CHERCHELL



STATION
DE
POMPAGE



STATION
DE
TRAITEMENT



BARRAGE

Site C : Le réservoir tampon peut être implanté à une cote de radier de 145 m, ce qui nous donne une hauteur géométrique de 90 m avec un refoulement de 900 m.

- A priori, on ne peut pas opter pour l'un des sites sans une étude technico-économique.

II-3 ETUDE TECHNICO-ECONOMIQUE:

Pour chaque site (A, B, C) de la station correspond respectivement une variante (1, 2, 3), dont il faut déterminer le diamètre économique résultant de l'optimisation entre :

- Les frais d'amortissement qui croissent avec le diamètre de la conduite.

- Les frais d'exploitation qui décroissent quand le diamètre de la conduite augmente.

II-3-1 ETAPES DE CALCUL:

1- La formule de Borim permet de connaître la série de diamètres sur laquelle se portera l'étude :

$$D = \sqrt{Q}$$

D : Diamètre de la conduite (en m).

Q : Débit véhiculé (en m³/s).

$$D = \sqrt{0,4} = 0,632 \text{ m}$$

L'étude portera alors sur la série des diamètres normalisés :

500 ; 600 ; 700

2- Le calcul sera basé sur les facteurs suivants :

a - Vitesse d'écoulement :

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \text{ (m/s)}$$

b - Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

avec :

ν : Viscosité cinématique (en m^2/s).

$$\nu = 10^{-6} m^2/s \quad \text{à } T = 20^\circ.$$

c - Hauteur Manométrique :

$$HMT = H_g + \Sigma \Delta H + \pi$$

H_g : Hauteur géométrique (en m).

π : réserve des pertes de charge (0,5 ÷ 1,0) m.

$$\Sigma \Delta H = \Delta H_a + \Delta H_r$$

$\Sigma \Delta H$: Resultante des pertes de charge à l'aspiration et au refoulement (en m).

ΔH_a : Pertes de charge à l'aspiration estimées à 0,8 m.

ΔH_r : Pertes de charge au refoulement (en m).

$$\Delta H_r = \Delta H_s + \Delta H_L$$

ΔH_s : Pertes de charge singulières estimées à 15% des ΔH_L (en m).

ΔH_L : Pertes de charge linéaires (en m).

Les pertes de charge linéaires sont calculées d'après la formule de Darcy-Weisbach :

$$\Delta H_L = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

L : Longueur de la conduite de refoulement (en m).

D : Diamètre de la conduite de refoulement (en m).

V : Vitesse d'écoulement (en m/s).

λ : Coefficient de pertes de charge dépendant du régime d'écoulement.

d - Coefficient de pertes de charge :

Si le régime est turbulent rugueux : $\lambda = f(K/D)$.

$$\lambda = \left(1,14 - 0,86 \ln \frac{K}{D}\right)^{-2} \quad \text{Formule de Nikuradze}$$

Si le régime d'écoulement est transitoire : $\lambda = f(Re, K/D)$.

$$\lambda = \left[2 \lg_{10} \left(\frac{0,27}{D/K} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda_0}}\right)\right]^{-2} \quad \text{Formule de Colebrook}$$

K : Rugosité absolue (= 0,1 mm).

Cette formule a l'inconvénient de contenir la grandeur recherchée λ dans les deux membres, ce qui entraîne un calcul par approximation successive.

On peut éviter le calcul par itération en prenant λ_0 dans le régime turbulent lisse. $\lambda = f(Re)$.

$$\lambda_0 = 0,4 Re^{-0,3} + 0,0053 \longrightarrow [1]$$

$$\lambda = \left[2 \lg_{10} \left(\frac{0,27}{D/K} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{0,4 Re^{-0,3} + 0,0053}}\right)\right]^{-2}$$

e - Régime d'écoulement :

Le régime d'écoulement peut être vérifié à l'aide de l'abaque de Moody ou, en comparant le nombre de Reynolds avec les limites des différents régimes :

Si : $Re < 10 \cdot \frac{D}{K}$ Régime turbulent lisse.

Si : $10 \cdot \frac{D}{K} < Re < 560 \cdot \frac{D}{K}$ Régime transitoire.

Si : $Re > 560 \cdot \frac{D}{K}$ Régime turbulent rugueux.

| D mm | V m/s | Re.10 ⁶ | Regime d'écoulement | λ |
|---------|----------|--------------------|---------------------|-----------|
| 500 | 2,03 | 1,02 | Transition | 0,01477 |
| 600 | 1,41 | 0,85 | Transition | 0,01457 |
| 700 | 1,04 | 0,74 | Transition | 0,01445 |

3- Frais d'exploitation :

La puissance absorbée par la pompe :

$$P = \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot HMT}{\eta} \quad (\text{KW})$$

ρ : Masse Volumique de l'eau ($= 10^3 \text{ Kg/m}^3$).

η : Rendement de la pompe ($= 0,7$).

Energie Consommée :

$$E = P \cdot T \quad (\text{KWH})$$

T : Durée de pompage en heures.

Pris de l'énergie consommée

$$PE = E \cdot e \quad (\text{DA}).$$

e : Tarif d'énergie en DA/KWH.

Le tarif d'énergie dépend de la tension et des heures d'utilisation, on cherchera donc à souscrire le tarif le plus économique en tenant compte de la durée de pompage.

D'après le barème des prix de la Sonelgaz deux tarifs sont possibles :

Le tarif 44 qui comprend une porte horaire unique :

$$e_{44} = 0,2041 \text{ DA/KWH}$$

Le tarif 41 qui comprend trois portes horaires :

Heures de pointes : 4 heures ; $e_1 = 0,4735$ DA/KWH.

Heures pleines : 12,5 heures ; $e_2 = 0,1054$ DA/KWH.

Heures creuses : 7,5 heures ; $e_3 = 0,0556$ DA/KWH.

Le tarif d'énergie pondéré :

$$e_{41} = e_1 \left(\frac{4}{24} \right) + e_2 \left(\frac{12,5}{24} \right) + e_3 \left(\frac{7,5}{24} \right) = 0,1512 \text{ DA/KWH}$$

On voit que le tarif 41 est le plus économique :

4 - Frais d'amortissement :

Pour le calcul des frais d'amortissement, il est nécessaire de calculer l'annuité :

$$A = \frac{i}{(i+1)^n - 1} + i$$

i : Taux d'intérêt égal à 8%.

n : Durée d'amortissement.

$n = 30$ ans pour les conduites , $A_1 = 0,08883$.

$n = 10$ ans pour l'électro-mécanique , $A_2 = 0,14903$.

Le prix d'électro-mécanique est estimé à :

100 DA / l/s / m , de HMT.

II-3-2 CALCUL DU DIAMETRE ECONOMIQUE :

Les différents calculs pour les différentes variantes sont portés dans des tableaux

- Variante 1

Longueur de refoulement : $L = 2700$ ml .

Côte de départ : $C_d = 70$ m .

Côte d'arrivée : $C_a = 185$ m .

a - Calcul de la hauteur manométrique :

| D m | V m/s | Re. 10^6 | λ | ΔH_L m | ΔH_T m | HMT m |
|--------|----------|------------|-----------|-------------------|-------------------|----------|
| 500 | 2,03 | 1,02 | 0,01477 | 16,75 | 20,67 | 135,67 |
| 600 | 1,41 | 0,85 | 0,01458 | 6,64 | 9,04 | 124,04 |
| 700 | 1,04 | 0,74 | 0,01445 | 3,09 | 4,95 | 119,95 |

Tableau 1

b - Frais, d'amortissement :

| D mm | L m | Priz de la conduite DA/ml | Coût total DA | Amortisse- ment de la conduite DA | HMT m | Coût d'electro- mecanique DA | Amortisse- ment d'electro- mecanique DA |
|---------|--------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 500 | 2700 | 1470 | 3969000 | 352566,27 | 135,67 | 5426800 | 808756,00 |
| 600 | 2700 | 1770 | 4779000 | 424518,57 | 124,04 | 4961600 | 739427,25 |
| 700 | 2700 | 2100 | 5670000 | 503666,1 | 119,95 | 4798000 | 715045,94 |

Tableau 2

c - Bilan, des frais, d'amortissement :

| D mm | Amortissement total DA |
|---------|---------------------------|
| 500 | 1161322,27 |
| 600 | 1163945,82 |
| 700 | 1218712,04 |

Tableau 3

d. Calcul des frais d'exploitation

| D mm | HMT m | Puissance Consommée KW | Energie annuelle KWH | Prix total de l'énergie DA |
|---------|----------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 500 | 135,67 | 760,53 | 6662218,77 | 1007327,48 |
| 600 | 124,04 | 695,33 | 6091115,33 | 920976,64 |
| 700 | 119,95 | 672,40 | 5890271,55 | 890609,06 |

Tableau 4

e. Bilan :

| D mm | Frais d'exploitation DA | Frais d'amortissement DA | Frais totaux (DA) |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 500 | 1007327,48 | 1161322,27 | 2168649,75 |
| 600 | 920976,64 | 1163945,82 | 2084922,46 |
| 700 | 890609,06 | 1218712,04 | 2109321,1 |

CONCLUSION :

Tableau 5

Le diamètre économique obtenu par la variante 1 est :

$$D = 600 \text{ mm .}$$

- Variante 2

Longueur de refoulement : $L = 530 \text{ m .}$

Côte de départ : $C_d = 40 \text{ m .}$

Côte d'arrivée : $C_a = 142 \text{ m .}$

a - Calcul de la hauteur manométrique :

| D mm | V m/s | Re · 10 ⁶ | λ | ΔH_L m | ΔH_T m | HMT m |
|---------|----------|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------|
| 500 | 2,03 | 1,02 | 0,01477 | 3,28 | 5,18 | 107,18 |
| 600 | 1,41 | 0,85 | 0,01458 | 1,32 | 2,92 | 104,92 |
| 700 | 1,04 | 0,74 | 0,01445 | 0,61 | 2,09 | 104,09 |

Tableau 6

b - Frais d'amortissement :

| D mm | L m | Prix de la conduite DA/mm | Coût total DA | Amortisse- ment de la conduite DA | HMT m | Coût d'électro- mécanique DA | Amortisse- ment d'électro- mécanique DA |
|---------|--------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 500 | 530 | 1470 | 779100 | 69207,45 | 107,18 | 4287200 | 638921,42 |
| 600 | 530 | 1770 | 938100 | 83331,42 | 104,92 | 4196800 | 625449,10 |
| 700 | 530 | 2100 | 1113000 | 98867,79 | 104,09 | 4163600 | 620501,31 |

Tableau 7

c - Bilan des frais d'amortissement :

| D mm | Amortissement total DA |
|---------|---------------------------|
| 500 | 708128,87 |
| 600 | 708780,52 |
| 700 | 719369,10 |

12 Tableau 8

d. Calcul des frais d'exploitation :

| D mm | HMT m | Puissance consommée KW | Energie annuelle KWH | Prix total de l'énergie DA |
|---------|----------|------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| 500 | 107,18 | 600,82 | 5263173,79 | 795791,88 |
| 600 | 104,92 | 588,15 | 5152194,38 | 779011,79 |
| 700 | 104,09 | 583,50 | 5111436,46 | 772849,19 |

Tableau 9

e. Bilan :

| D mm | Frais d'exploitation DA | Frais d'amortissement DA | Frais totaux DA |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 500 | 795791,88 | 708128,87 | 1503920,75 |
| 600 | 779011,79 | 708780,52 | 1487792,31 |
| 700 | 772849,19 | 719369,10 | 1492218,29 |

Tableau 10

Le diamètre économique obtenu par la variante 2 est :

$$D = 600 \text{ mm .}$$

- Variante 3

Longueur de refoulement : $L = 900 \text{ m .}$

Côte de départ : $C_d = 60 \text{ m .}$

Côte d'arrivée : $C_a = 150 \text{ m .}$

a - Calcul de la hauteur manométrique :

| D m | V m/s | Re · 10 ⁶ | λ | ΔH_L m | ΔH_T m | HMT m |
|--------|----------|----------------------|-----------|-------------------|-------------------|----------|
| 500 | 2,03 | 1,02 | 0,01477 | 5,59 | 7,83 | 97,83 |
| 600 | 1,41 | 0,85 | 0,01458 | 2,23 | 3,97 | 93,97 |
| 700 | 1,04 | 0,74 | 0,01445 | 1,03 | 2,58 | 92,58 |

Tableau 11

b - Frais d'amortissement :

| D mm | L m | Prix de la conduite DA/ml | Coût total DA | Amortisse- ment de la conduite DA | HMT m | Coût d'électro- mécanique DA | Amortisse- ment d'électro- mécanique DA |
|---------|--------|---------------------------------|---------------------|--------------------------------------------|----------|---------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 500 | 900 | 1470 | 1323000 | 117522,09 | 97,83 | 3913200 | 583184,20 |
| 600 | 900 | 1770 | 1593000 | 141506,19 | 93,97 | 3758800 | 560173,94 |
| 700 | 900 | 2100 | 1890000 | 167888,70 | 92,58 | 3703200 | 551887,90 |

Tableau 12

c - Bilan des frais d'amortissement :

| D mm | Amortissement total DA |
|---------|---------------------------|
| 500 | 700706,29 |
| 600 | 701680,13 |
| 700 | 719776,60 |

d. Calcul des frais d'exploitation :

| D mm | HMT m | Puissance consommée KW | Energie annuelle KWH | Prise total de l'énergie DA |
|---------|----------|------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 500 | 97,83 | 548,41 | 4804045,57 | 726371,69 |
| 600 | 93,97 | 526,76 | 4614417,60 | 697699,94 |
| 700 | 92,58 | 518,98 | 4546238,77 | 687391,30 |

Tableau 14

e. Bilan :

| D mm | Frais d'exploitation DA | Frais d'amortissement DA | Frais totaux DA |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| 500 | 726371,69 | 700706,29 | 1427077,98 |
| 600 | 697699,94 | 701680,13 | 1399380,07 |
| 700 | 687391,30 | 719776,60 | 1407167,90 |

Tableau 15

Le diamètre économique obtenu par la variante 3 est :

$$D = 600 \text{ mm .}$$

II -3-3 CONCLUSION:

En faisant une comparaison entre les différents bilans, des diamètres obtenus, on opte pour la variante 3 qui est la plus économique.

CHAPIII RESERVOIR TOMPON

Le reservoir tampon est un reservoir intermediaire. Il assure le passage de l'eau, sa capacite doit être determinee de façon à maintenir pleines les conduites gravitaires, reliant le reservoir tampon aux reservoirs de Tipaza et, Cherchell.

Ceci est donc possible en considerant les deux etapes suivantes:

1 - Arrêt total du pompage d'eau pendant un temps determine, pris egal à 45 minutes.

Au bout d'un temps dt , il s'écoule un volume :

$$dV = Q \cdot dt = -S \cdot dh$$

$$dt = - \frac{S \cdot dh}{Q}$$

$$t = \int_{150}^{145} \frac{S \cdot dh}{Q} = \frac{5 \cdot S}{Q} = 45 \text{ min}$$

d'où :

$$S = \frac{t \cdot Q}{5} = 216 \text{ m}^2$$

$$V_1 = S \cdot h = 1080 \text{ m}^3$$

2 - Ce temps etant écoulé et la station n'est pas encore mise en marche, On procede alors à la fermeture lente des vannes se trouvant à l'arrivee des conduites gravitaires.

Le temps de fermeture (t_f) des vannes doit être determine de façon à eviter les effets du coup de belier.

Le debit qui s'écoule au moment où commence la fermeture est:

$$q = Q - \frac{Q}{t_f} \cdot t \quad (\text{fermeture lineaire}).$$

Le Volume d'eau dV écoulé pendant un temps dt :

$$dV = \left(Q - \frac{Q}{t_f} \cdot t \right) \cdot dt$$

Le Volume total qui s'est écoulé pendant le temps t_f :

$$V = Q \cdot \frac{t_f}{2}$$

Le temps de fermeture t_f est, choisi, une fois que la vitesse d'écoulement dans la conduite est connue.

III-1 - RESERVOIR TAMPON-RESERVOIR TIPAZA :

$$Q = 150 \text{ l/s} \quad ; \quad L = 13870 \text{ m}$$

$$\text{Cote de départ :} \quad C_d = 150 \text{ m}$$

$$\text{Cote d'arrivée :} \quad C_a = 135 \text{ m}$$

$$\Delta H = 15 \text{ m}$$

Gradient de pertes de charge :

$$j = \frac{\Delta H}{L} = 0,00108$$

La vitesse doit être comprise entre 0,5 et 2 m/s.

$$\text{On prend :} \quad V = 0,76 \text{ m/s} \longrightarrow D = 500 \text{ mm}$$

On vérifie le gradient de pertes de charge :

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$Q = 150 \text{ l/s}$$

$$K = 10^{-4} \text{ m}$$

$$\xrightarrow{\text{Abaque}} j = 0,00103$$

$$\Delta H = 0,00103 \cdot L = 14,29 < 15 \text{ m}$$

La différence sera ajustée à l'aide d'un robinet vanne.

Si on prend $t_f = 15 \text{ min}$, la valeur maximale du coup de belier sera :

$$b = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot t} = 2,4 \text{ m} \quad ; \quad V_e = 0,15 \cdot \frac{t_f}{2} = 67,5 \text{ m}^3$$

III- 2 RESERVOIR TAMPON-RESERVOIR CHERCHELL:

$$Q = 250 \text{ l/s}$$

$$L = 16050 \text{ m}$$

$$\text{Côte de départ : } C_d = 150 \text{ m ; } \Delta H = 71,9 \text{ m}$$

$$\text{Côte d'arrivée : } C_a = 78,1 \text{ m}$$

$$\text{Gradient de pertes de charge : } j = \frac{\Delta H}{L} = 0,0044$$

On prend :

$$D = 500 \text{ mm} \longrightarrow V = 1,27 \text{ m/s (convenable)}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$Q = 250 \text{ l/s} \longrightarrow j_1 = 0,0027$$

$$K = 10^{-4} \text{ m}$$

$$\Delta H_1 = j_1 \cdot L = 43,33 \text{ m} < 71,9 \text{ m.}$$

Cette conduite seule, ne permet pas d'avoir les pertes de charge nécessaires, c'est pourquoi on propose d'installer une deuxième conduite de diamètre inférieur raccordée en série avec la première.

$$D = 400 \text{ mm} \longrightarrow V = 1,97 \text{ m/s}$$

$$Q = 250 \text{ l/s} \longrightarrow j_2 = 0,00821$$

$$K = 10^{-4} \text{ m}$$

Déterminons la longueur de chaque conduite :

$$j_1 \cdot L_1 + j_2 \cdot L_2 = 71,9 \text{ m}$$

$$L_1 + L_2 = 16050 \text{ m}$$

$$\text{On trouve : } L_1 = 10866 \text{ m ; } L_2 = 5184 \text{ m}$$

De même si on prend $t_f = 15 \text{ min}$, la valeur maximale du coup de belier sera :

$$b = \frac{2 \cdot L \cdot V_0}{g \cdot t} \quad (\text{formule de MICHAUD}).$$

$$b = 4,6 \text{ m. avec } V_0 = 1,27 \text{ m/s.}$$

Le Volume :

$$V_3 = 0,25 \cdot \frac{t_f}{2} = 112,5 \text{ m}^3.$$

Le Volume total du réservoir tampon est :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = 1260 \text{ m}^3.$$

On prend :

$$V = 1500 \text{ m}^3$$

La hauteur d'eau dans le réservoir tampon est de 5 m,
le diamètre sera donc :

$$D = 19,5 \text{ m.}$$

CHAP IV EQUIPEMENTS DE LA STATION

L'équipement de la station de pompage est classé en deux groupes hydromécaniques et énergétiques. Ces derniers sont groupés en équipement principal et auxiliaire.

L'équipement principal comprend : pompes, moteurs, ainsi que les robinets vannes et clapets installés en amont et aval des pompes.

L'équipement auxiliaire est appelé à assurer le fonctionnement normal de l'équipement principal à savoir :

Armorçage des pompes, protection des pompes contre les phénomènes transitoires, montage et démontage de l'équipement.

IV-1 CHOIX DES POMPES:

Les pompes sont des appareils hydrauliques destinés à transformer l'énergie d'un fluide en énergie mécanique, à l'aide d'un mouvement de translation ou de rotation continue.

Il existe trois types de pompes :

- pompes centrifuges.
- pompes axiales.
- pompes volumétriques.

Les pompes centrifuges sont les plus utilisées à cause des avantages qu'elles présentent, à savoir :

- Un rendement élevé.
- Vitesse de rotation importante.
- Forte capacité d'aspiration.
- Encombrement et poids faibles.

IV-1-1 CONSTITUTION D'UNE POMPE CENTRIFUGE:

Une pompe centrifuge se compose de :

- Une roue mobile constituée par un moyeu porté par un arbre et muni d'aubes.

- Un organe fixe, le diffuseur qui a pour rôle de transformer en pression une partie de la vitesse de l'eau à la sortie de la roue.

- Une Volute destinée à acheminer l'eau vers la conduite de refoulement.

IV-1-2 CLASSIFICATION DES POMPES CENTRIFUGES :

Les pompes centrifuges peuvent être classées selon :

- Le nombre de roues :

On distingue des pompes à une seule roue, appelées pompes à un étage ou monocellulaires et les pompes à plusieurs roues dites à plusieurs étages ou multicellulaires.

- La disposition de l'axe de la pompe :

Les pompes centrifuges monocellulaires ou multicellulaires sont construites avec un arbre à axe vertical ou horizontal, donc, suivent le cas, elles sont horizontales ou verticales.

- La hauteur créée par la pompe :

Forte pression ($H > 60 \text{ m}$)

Moyenne pression ($20 \leq H \leq 60 \text{ m}$)

Faible pression ($H < 20 \text{ m}$)

- Le mode d'amenée de l'eau à l'œil d'aspiration :

- à une aspiration.

- à double aspiration.

IV-2 INFLUENCE DES CARACTERISTIQUES DES POMPES SUR LEUR EXPLOITATION :

La caractéristique $H(Q)$ varie en fonction de l'angle d'aube à la sortie, en général, elle peut avoir deux allures. (fig I). On va étudier l'influence de la forme de la caractéristique $H(Q)$, sur le démarrage de la pompe et la stabilité du point de fonctionnement. Ce dernier représente l'égalité entre l'énergie demandée par la conduite et celle fournie par la pompe.

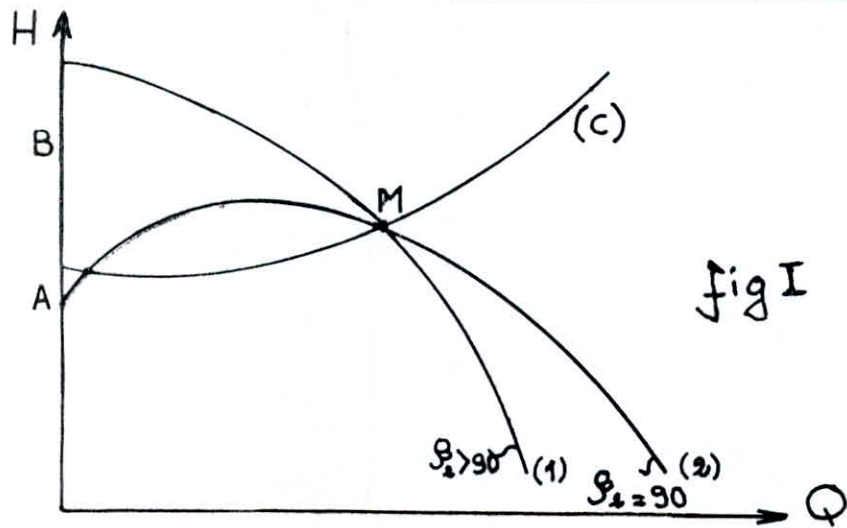


fig I

Soient deux pompes de caractéristiques 1 et 2.

a - Démarrage de la pompe :

La pompe de caractéristique (1) démarre facilement à vanne de refoulement fermée, en régime de barbotage, l'énergie créée par la pompe est supérieure à la hauteur demandée par la conduite. (fig I-a).

Le démarrage de la pompe de caractéristique (2) est impossible puisque à débit nul la hauteur créée par la pompe est inférieure à la hauteur géométrique. (fig I-b).

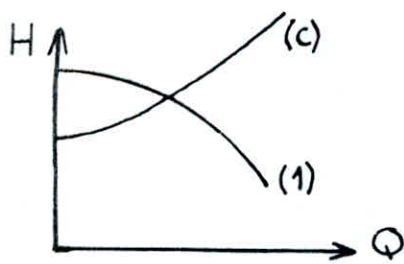


fig I-a

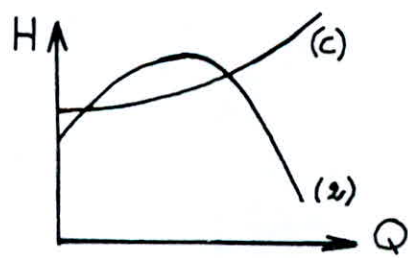


fig I-b

A l'aide d'un by-Pass (fig II), on peut réaliser un démarrage correcte, à vanne de refoulement fermée. On ouvre en premier lieu le by-Pass qui donne un point de fonctionnement M_1 , on ouvre ensuite progressivement la vanne V_1 , le point de fonctionnement passe à M_2 . Ensuite on ferme la vanne V_2 de la même manière, ainsi le point de fonctionnement passe en M.

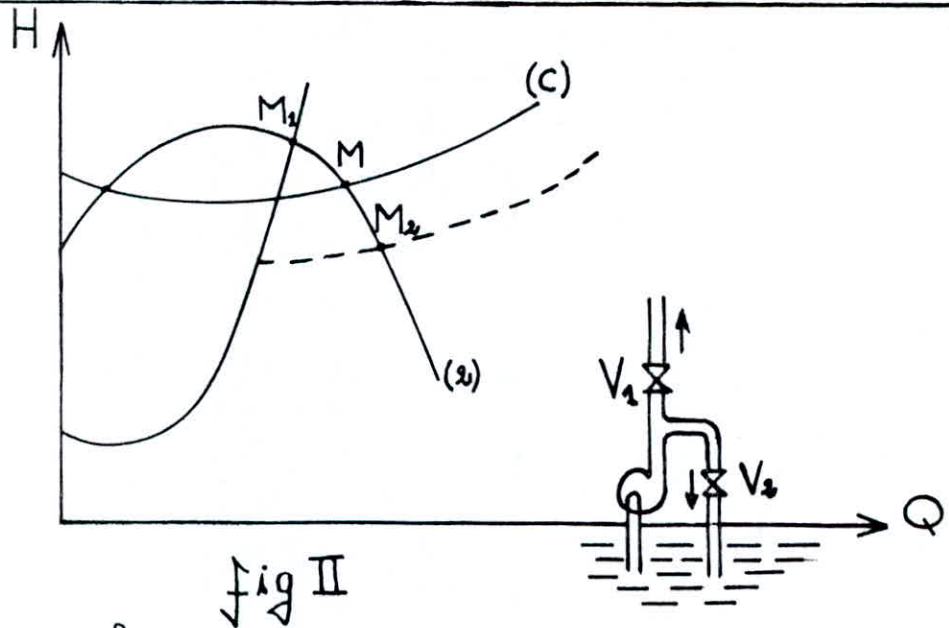


fig II

b - Stabilité de fonctionnement :

Soit une pompe de caractéristique (1), supposons que le débit Q_1 diminue au dessous du débit du point de fonctionnement M , l'énergie fournie par la pompe est supérieure à celle demandée par la conduite, cette différence d'énergie tend à augmenter le débit jusqu'à sa valeur initiale. (fig III - a).

Maintenant, dans le cas où le débit augmente prenant une valeur Q_2 , l'énergie demandée par la conduite sera supérieure à celle fournie par la pompe, leur différence tend à rétablir le débit. Dans les deux cas le fonctionnement original se rétablit, on dit alors que le point de fonctionnement est stable. (fig III a).

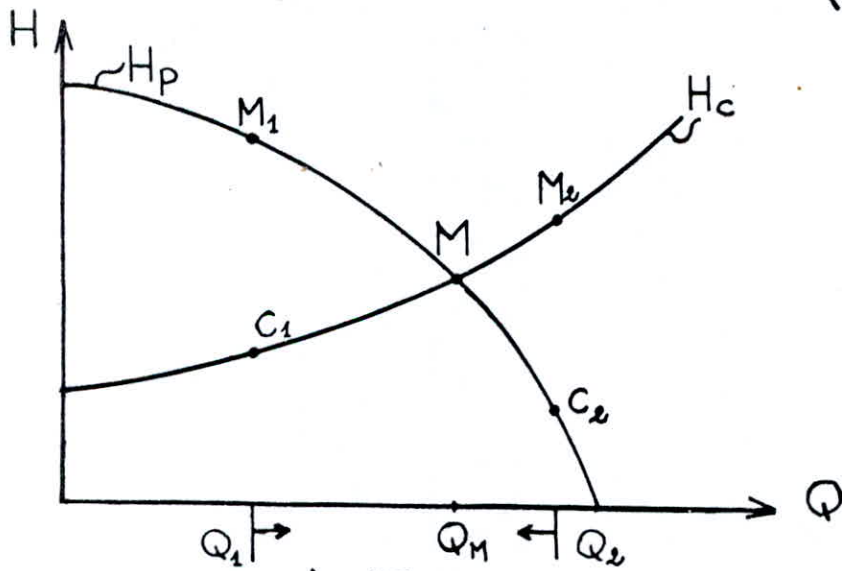
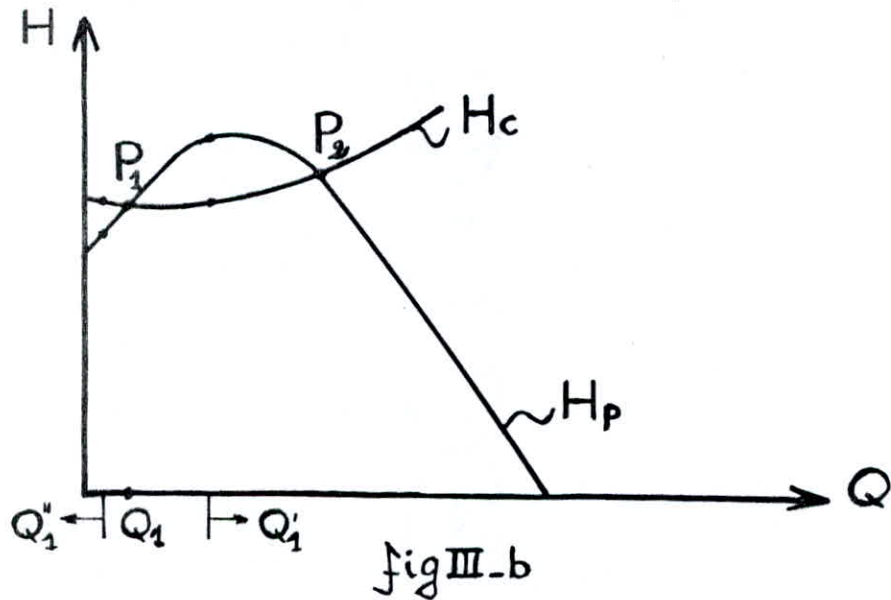


fig III - a
23

Soit une pompe de caractéristique (2) qui présente deux points de fonctionnement P_1, P_2 (fig III-b). En raisonnant de la même manière, on constate que le point P_2 est stable, Par contre le point P_1 est instable.



Pour un fonctionnement stable, il faut que :

$$\frac{dH_c}{dQ} > \frac{dH_p}{dQ}$$

CONCLUSION :

De l'étude précédente, il découle que la pompe de caractéristique 1 (plongée) assure un fonctionnement stable et un démarrage qui s'effectue facilement avec vanne de refoulement fermée.

IV-3-COUPLAGES DES POMPES :

Les pompes peuvent être couplées de deux manières différentes :

a - Couplage en série :

Dans ce cas, le débit refoulé par une pompe arrive à l'œil d'aspiration de la deuxième pompe, la caractéristique de l'ensemble sera obtenue en faisant la somme des hauteurs pour un même débit.

b - Couplage en parallèle :

Dans ce cas, les pompes refoulent dans un collecteur commun, pour une hauteur d'élevation donnée, la caractéristique globale est la somme des débits pour une hauteur donnée.

IV-4-ADAPTATION DES POMPES SUR UN RESEAU :

Il est rare qu'on trouve une pompe qui donne le point de fonctionnement voulu, de ce fait, il est nécessaire d'apporter des modifications dans le dimensionnement, ou le fonctionnement de celle-ci.

On peut procéder aux modifications suivantes :

1. Réduction du temps de pompage :

Il consiste à garder le point de fonctionnement tel qu'il est donné, avec le débit relevé supérieur au débit désiré, en réduisant le temps de pompage, mais ce mode de réglage peut engendrer une cavitation.

Le volume entrant dans le réservoir pendant une durée t est :

$$V = Q \cdot t \quad (\text{m}^3)$$

Q : débit désiré (en m^3/s)

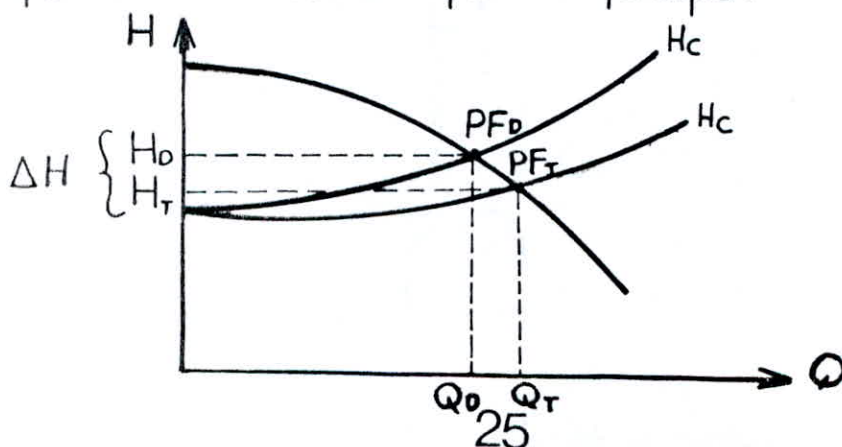
Le temps de pompage se réduit à :

$$t' = \frac{V}{Q'} \quad (\text{s})$$

Q' : Débit trouvé (en m^3/s).

2. Vannage au refoulement :

Dans le but d'avoir le point de fonctionnement désiré, on peut procéder à un vannage au refoulement. On provoque alors des pertes de charge supplémentaires qui occasionneront une augmentation de la puissance absorbée par la pompe.



3- Reglage par un By-Pass: - Un tel reglage, consiste à faire passer le débit en excès dans la bache d'aspiration.

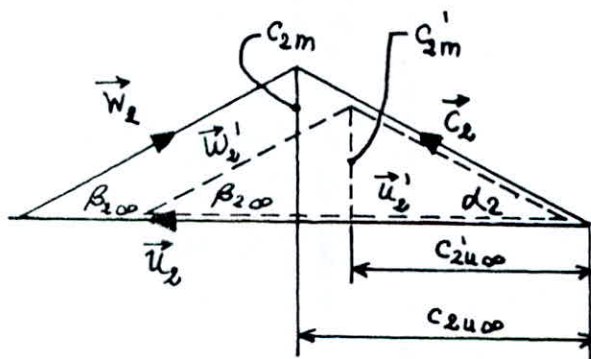
Ce type de reglage est utilisé uniquement dans le cas où nous avons des pompes à grand nombre de tours spécifiques.

4- Le Rognage :

Le rognage consiste à diminuer le diamètre de la roue d'une pompe, de façon à faire passer la caractéristique de la pompe par le point de fonctionnement voulu.

Lorsque la variation du diamètre n'est pas importante, l'angle d'aube à la sortie (β_2) ainsi que la largeur de la roue (b_2) restent inchangés et le rendement varie relativement peu.

Les triangles de vitesse de la roue avant et après le rognage, sont homologues.



$$\frac{u_2'}{u_2} = \frac{c_{2m}'}{c_{2m}} = \frac{c_{2u00}'}{c_{2u00}} = \frac{D_2'}{D_2}$$

d'autre part :

$$Q = D_2 \cdot \pi \cdot b_2 \cdot c_{2m} \cdot \psi_2 \cdot \eta_v$$

$$Q' = D_2' \cdot \pi \cdot b_2 \cdot c_{2m}' \cdot \psi_2 \cdot \eta_v$$

$$\text{d'où : } \frac{Q}{Q'} = \left(\frac{D_2}{D_2'} \right)^2$$

Les hauteurs sont :

$$H = \eta_h \cdot \lambda \cdot \frac{c_{2u_\infty} \cdot u_2}{g} ; H' = \eta_h \cdot \lambda \cdot \frac{c'_{2u_\infty} \cdot u'_2}{g}$$

d'où :

$$\frac{H}{H'} = \left(\frac{D_2}{D'_2} \right)^2$$

Il a été vérifié expérimentalement que le rognage dépend du nombre de tours spécifiques :

$$\eta_s = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (\text{tr/min})$$

Il est calculé pour le rendement maximal de la pompe.

si : $\eta_s \leq 200$

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{D}{D'} \quad , \quad \frac{H}{H'} = \left(\frac{D}{D'} \right)^2$$

si $\eta_s > 200$

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{D}{D'} \quad , \quad \frac{H}{H'} = \frac{D}{D'}$$

Ces formules s'appliquent Uniquement entre deux points homologues, situés sur la même parabole de similitude.

Le taux de rognage en fonction du nombre de tours spécifiques est :

| η_s (tr/min) | Taux de rognage (%) |
|-------------------|---------------------|
| 60 - 120 | 15 - 20 |
| 120 - 200 | 11 - 15 |
| 200 - 300 | 7 - 11 |

La diminution du rendement peut être appréciée de la manière suivante :

| n_s (tr/min) | $Z_{\text{auss}} \text{ de rognage}$ (%) | Chute du rendement (%) |
|----------------|------------------------------------------|------------------------|
| 60 - 120 | 10 | 1 |
| > 200 | 4 | 1 |

IV-5-CHOIX DES VARIANTES:

Pour le choix du nombre de pompes à installer dans la station, nous avons opté pour plusieurs variantes avec, dans chacune d'entre elles un nombre différent de pompes allant de 1 jusqu'à 3, installées en parallèle.

Le nombre de pompes à installer en parallèle est limité, les variantes proposées sont les suivantes :

| Numero de Variante | Nombre de Pompes | Debit l/s | TYPE de Pompe K S B | Diamètre de la roue (mm) | η (%) | Vitesse de rotation (tr/min) |
|--------------------|------------------|-----------|---------------------|--------------------------|------------|------------------------------|
| I | 1 | 400 | 300-560A | 553 | 85 | 1450 |
| II | 2 | 200 | 200-520A | 540 | 82 | 1450 |
| III | 3 | 135 | 125-290A | 276 | 83 | 2900 |

IV-5-1 ETUDE DES VARIANTES:

Variante I

a. Réduction du temps de pompage :

P_T (0,450 ; 95,05) : Point de fonctionnement trouvé.

P_D (0,400 ; 94,00) : Point de fonctionnement désiré.

Pendant 24 heures il entre dans le réservoir un volume de :

$$V = Q \cdot t = 0,4 \cdot 24 \cdot 3600 = 34560 \text{ m}^3$$

Le temps de pompage se réduit à :

$$t' = \frac{V}{Q_r} = \frac{34560}{0,450 \cdot 3600} = 21 \text{ h } 20 \text{ min.}$$

La puissance absorbée est :

$$P_p = \frac{\rho \cdot Q_r \cdot \text{HMT}}{\eta} = \frac{9,81 \cdot 0,450 \cdot 95,05}{0,85} = 439 \text{ kW.}$$

L'énergie consommée est :

$$E = P \cdot t' = 439 \cdot 21,33 \cdot 3600 = 3416 \cdot 10^3 \text{ kWh/an.}$$

b. Vannage au refoulement :

$$P_v = (0,400 ; 98,4)$$

Les pertes de charge créées sont :

$$\Delta H = H_v - H_D = 98,4 - 94 = 3,4 \text{ m.}$$

$$P_p = \frac{\rho \cdot Q_v \cdot \text{HMT}}{\eta} = 455 \text{ kW.}$$

$$E = P \cdot t = 455 \cdot 24 \cdot 3600 = 3986 \cdot 10^3 \text{ kWh/an}$$

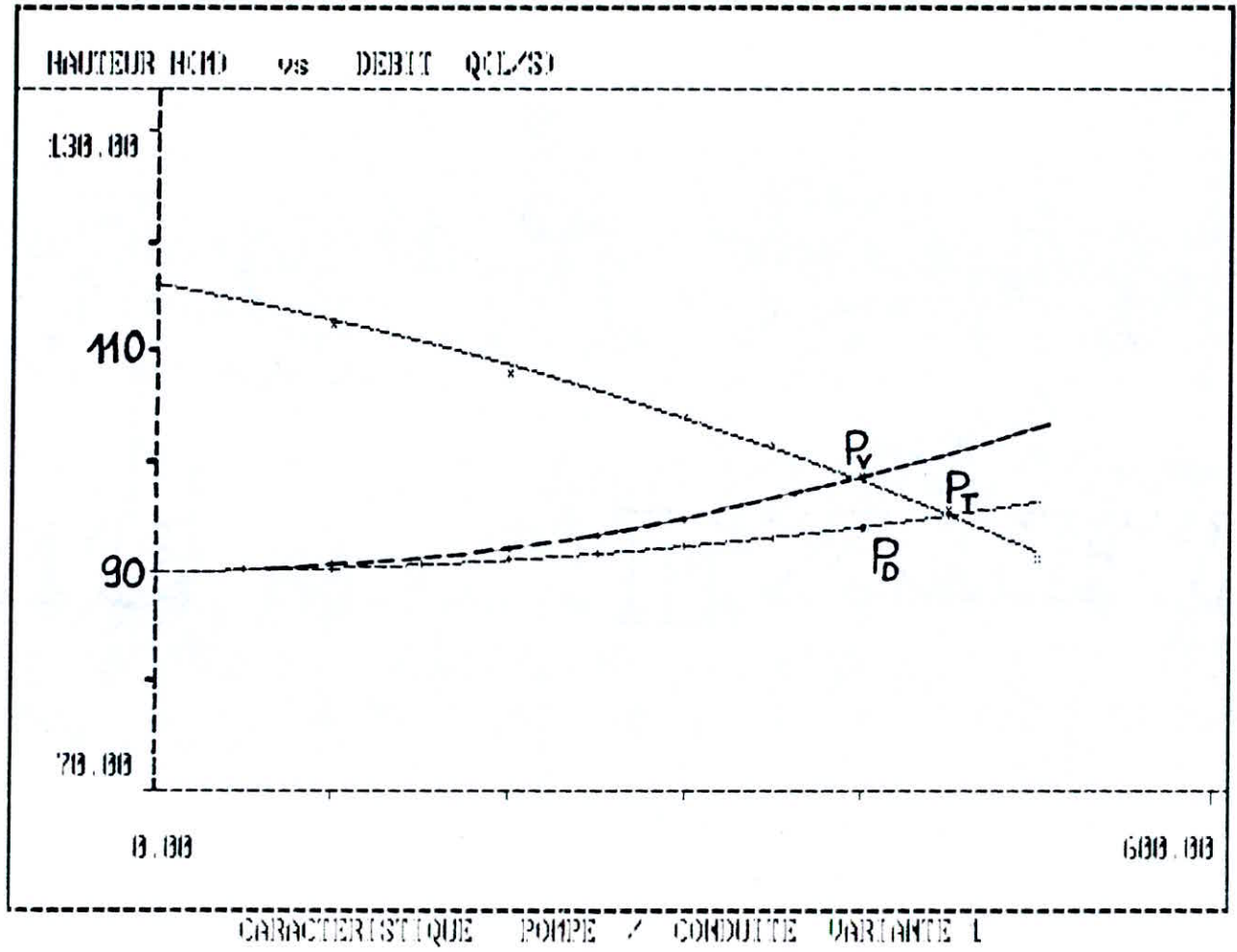
c. Rognage :

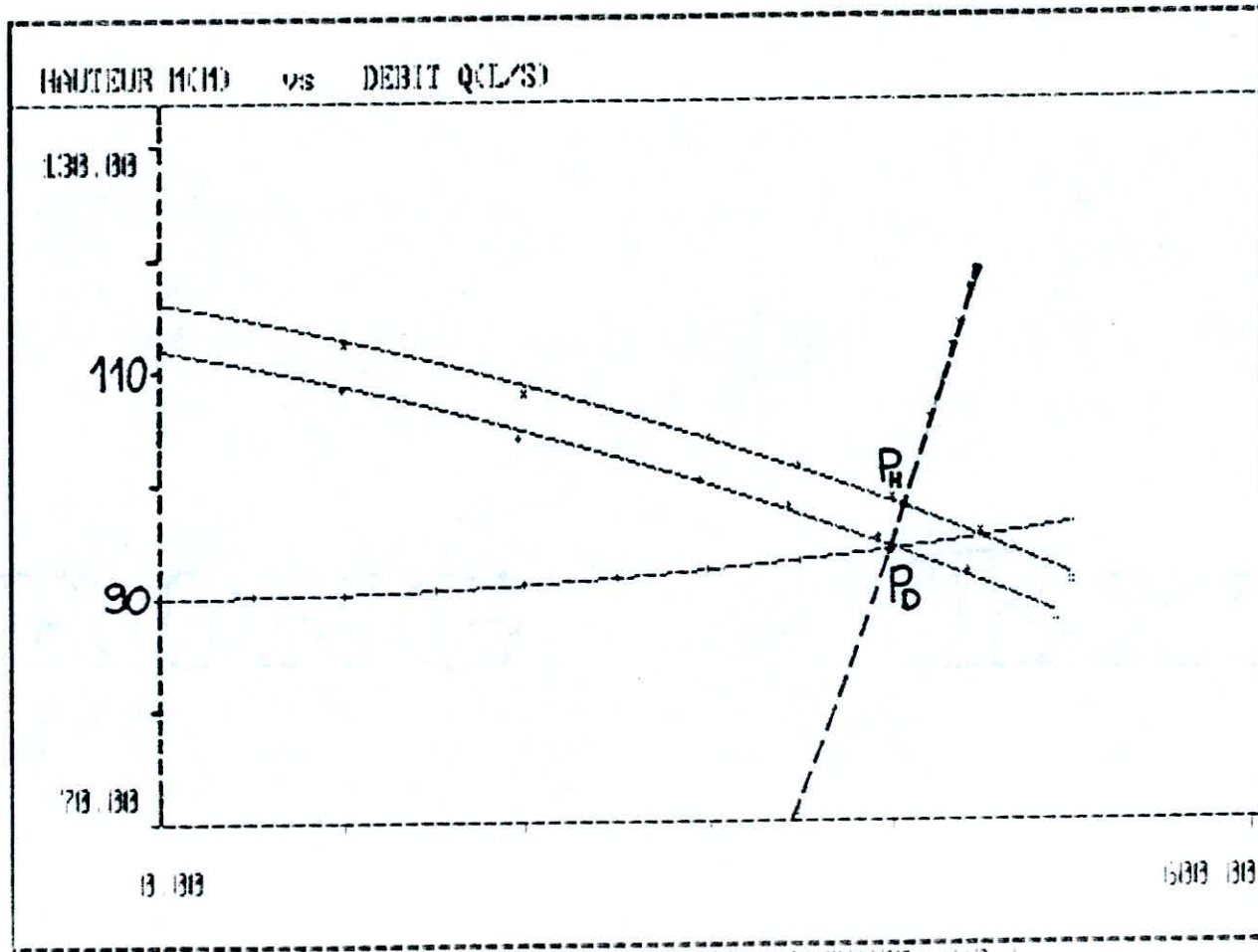
$$P_D = (0,400 ; 94)$$

$$P_H = (0,407 ; 97,3) : \text{Point homologue.}$$

$$i = \frac{Q'}{Q} = \frac{D'}{D} = 0,982$$

$$\text{d'où : } D' = \frac{Q' \cdot D}{Q} = \frac{400 \cdot 553}{407} = 543 \text{ mm.}$$





CHARACTERISTIQUES POMPES ROBINETTES / CONDUCTANCE MAR L

Le taux de rognage est :

$$r = \frac{D - D'}{D} = \frac{553 - 543}{553} = 1,81\%$$

Le nombre de tours spécifique :

$$N_s = \frac{n \cdot 3,65 \cdot Q^{1/2}}{H^{3/4}} = \frac{1450 \cdot 3,65 \cdot 0,49}{92,5^{3/4}} = 12,4 \text{ tr/min}$$

Le rendement chute à :

$$\eta = \eta - \frac{1,81}{1000} = 0,848$$

$$P_p = \frac{g \cdot Q \cdot HMT}{\eta} = \frac{9,81 \cdot 0,4 \cdot 94}{0,848} = 435 \text{ KW.}$$

$$E = P \cdot t = 435 \cdot 24 \cdot 365 = 3811 \cdot 10^3 \text{ KWH/an}$$

_ Variante II

a_ Reduction du temps de pompage :

$$P_T (0,445 ; 95)$$

$$P_D (0,400 ; 94)$$

Le temps se réduit à :

$$t' = \frac{34560}{0,445 \cdot 3600} = 21 \text{ H } 35 \text{ min.}$$

$$P_p = \frac{9,81 \cdot 0,445 \cdot 95}{0,82} = 506 \text{ KW}$$

$$E = 506 \cdot 21,57 \cdot 365 = 3984 \cdot 10^3 \text{ KWH/an}$$

b_ Vannage au refoulement :

$$P_v (0,400 ; 98,5)$$

Les pertes de charge occasionnées sont :

$$\Delta H = 98,5 - 95 = 3,5 \text{ m}$$

$$P_p = \frac{9,81 \cdot 0,4 \cdot 98,5}{0,82} = 472 \text{ KW}$$

$$E = 472 \cdot 24 \cdot 365 = 4135 \cdot 10^3 \text{ KWH/an}$$

c - Rognage :

$$P_b (0,400 ; 94)$$

$$P_H (0,408 ; 97,81)$$

$$i = \frac{Q'}{Q} = \frac{D'}{D} = 0,981$$

$$\text{d'où : } D' = \frac{Q' \cdot D}{Q} = \frac{400 \cdot 540}{408} = 530 \text{ mm.}$$

Le taux de rognage :

$$r = \frac{D - D'}{D} = \frac{540 - 530}{540} = 1,9\%$$

Le nombre de tours spécifique :

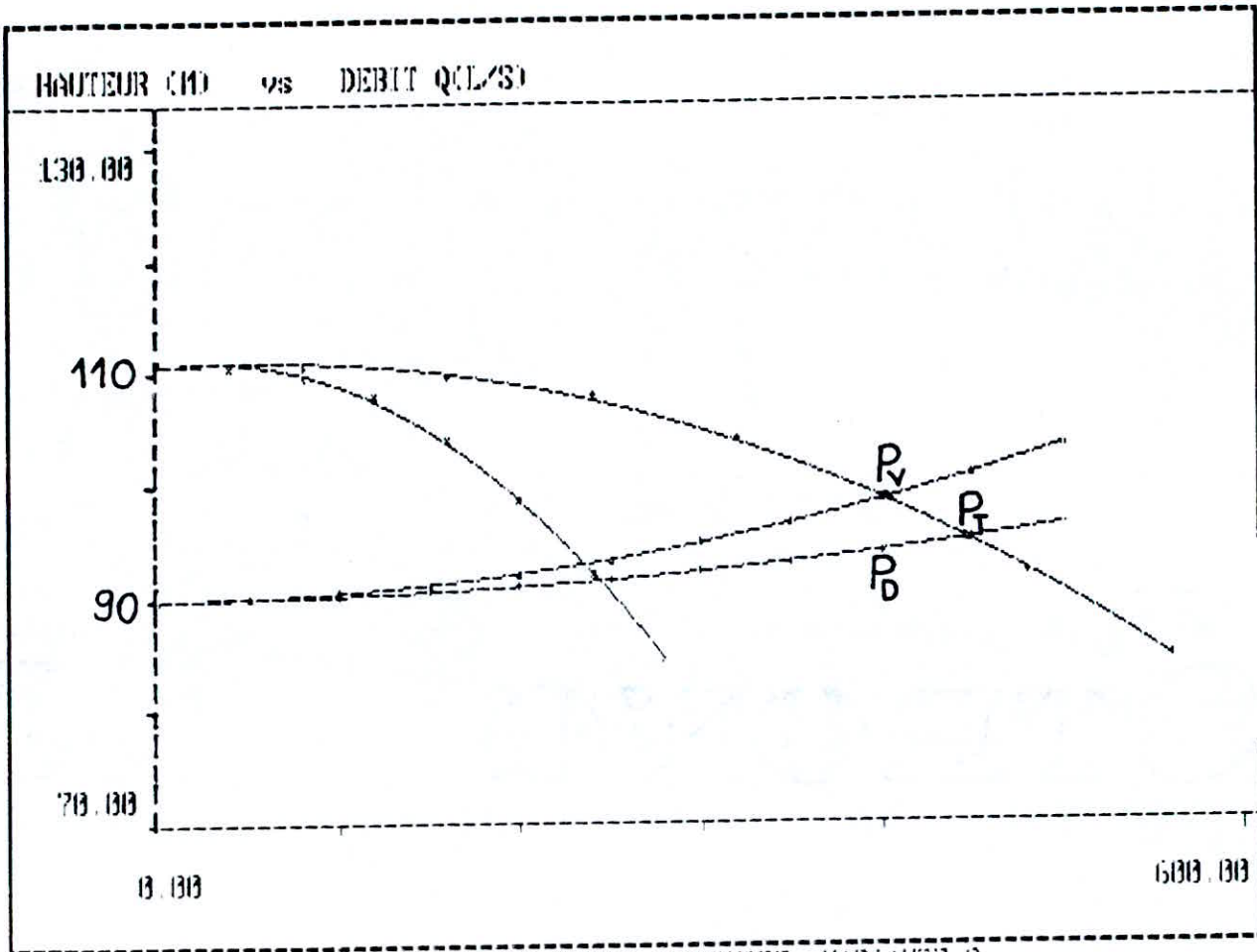
$$\eta_s = \frac{3,65 \cdot 1450 \cdot 0,22^{1/2}}{96^{3/4}} = 81 \text{ tr/min}$$

Le rendement résultant est :

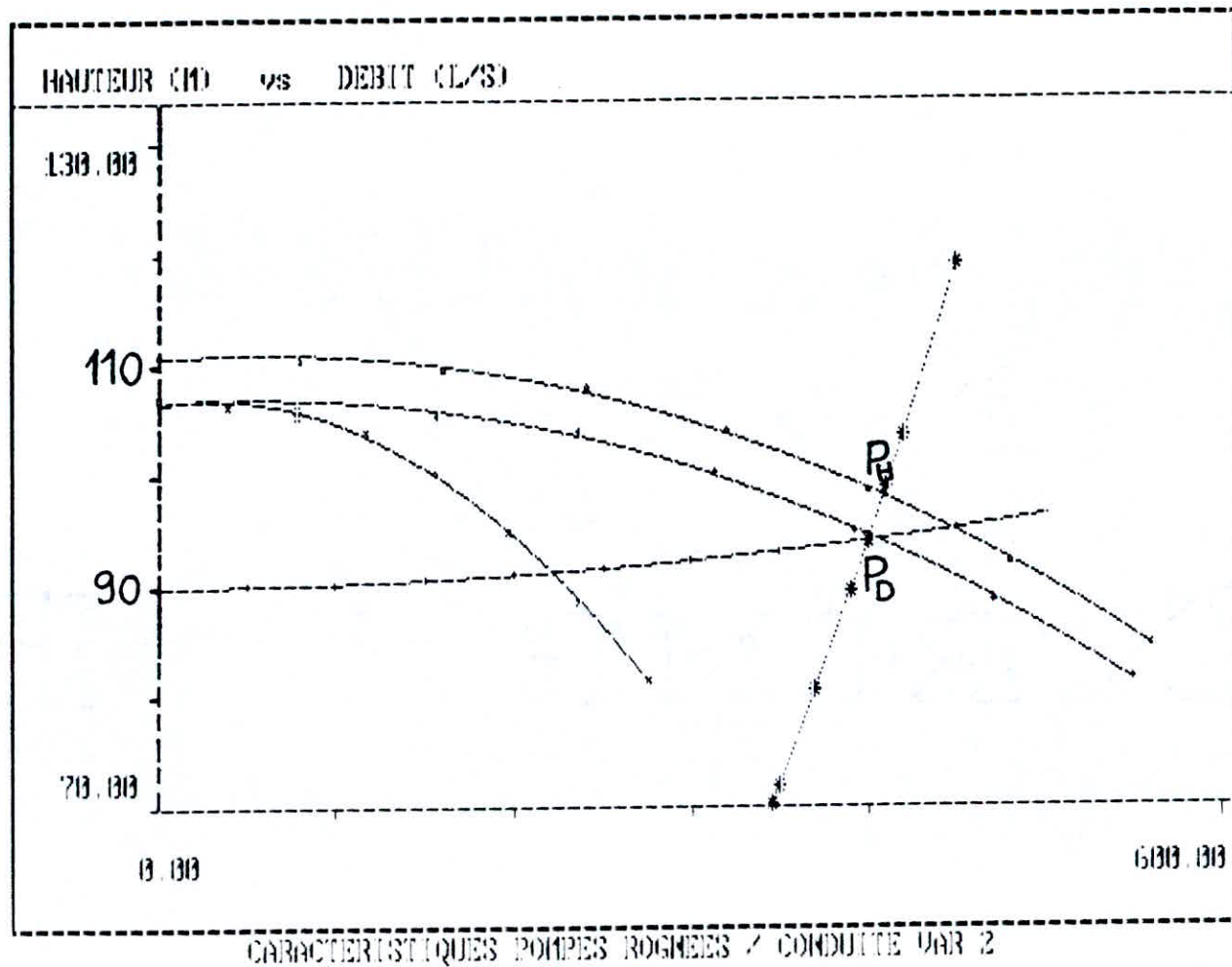
$$\eta = \eta_s - \frac{1,9}{1000} = 0,818$$

$$P_p = \frac{9,81 \cdot 0,4 \cdot 94}{0,818} = 451 \text{ KW}$$

$$E = 451 \cdot 24 \cdot 365 = 3951 \cdot 10^3 \text{ KWH/an}$$



CARACTERISTIQUE POMPE CONDUITE VARIANTE 2



- Variante III

La Variante III nous donne le point de fonctionnement voulu, donc, il n'y aura aucune modification à faire ni dans le fonctionnement ni dans le dimensionnement.

Calcul de la puissance :

$$P_p = \frac{g \cdot Q \cdot HMT}{\eta} = \frac{9,81 \cdot 0,4 \cdot 94}{0,83} = 445 \text{ KW}$$

L'énergie :

$$E = P \cdot t = 445 \cdot 24 \cdot 365 = 3893 \cdot 10^3 \text{ KWH/an}$$

- Recapitulatif des énergies consommées :

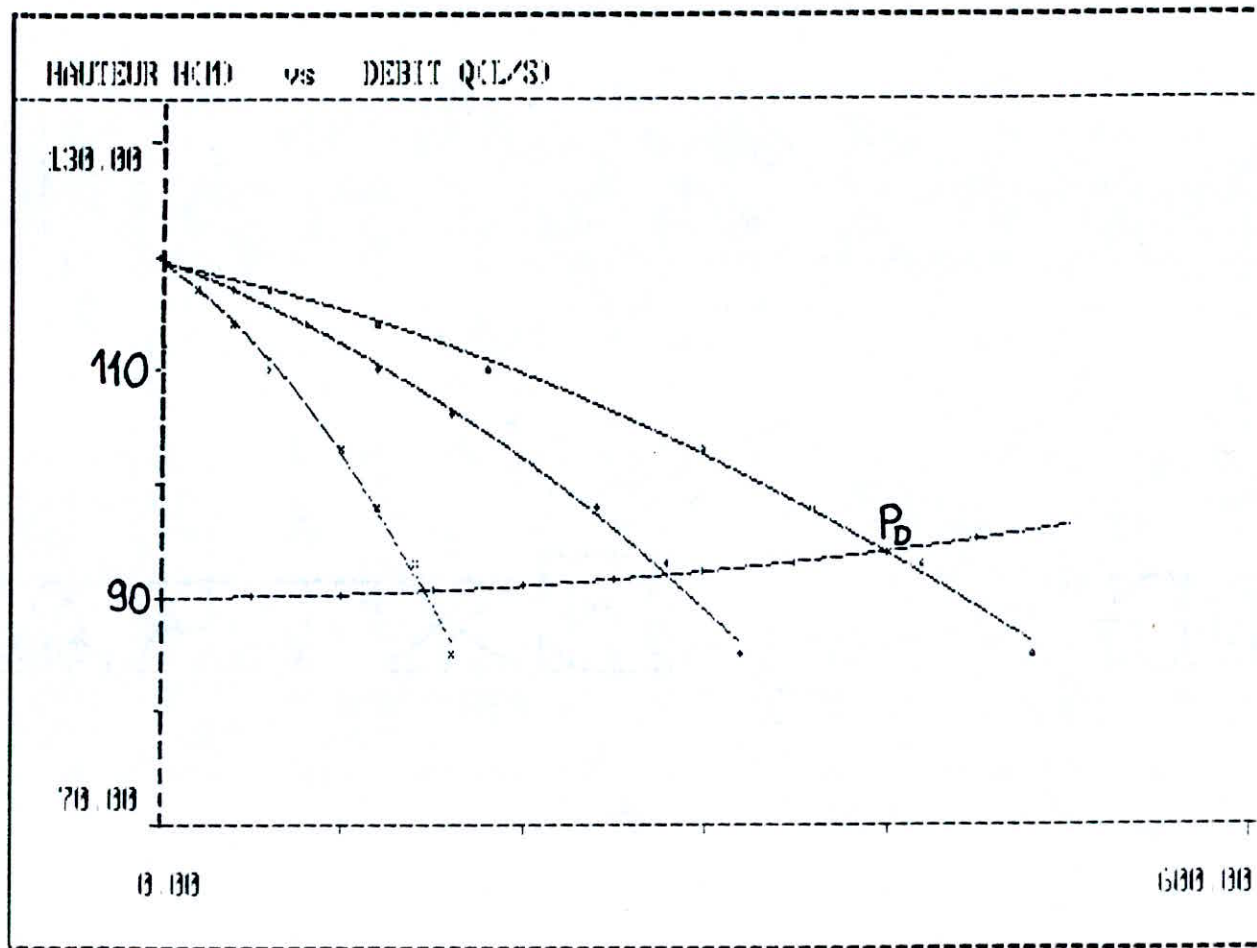
| Numero De Variante | Reduction du temps de Pompage $E \cdot 10^3$ (KWH/an) | Vannage au refoulement $E \cdot 10^3$ (KWH/an) | Rognage $E \cdot 10^3$ (KWH/an) |
|--------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------------------------|
| I | 3416 | 3986 | 3811 |
| II | 3984 | 4135 | 3951 |
| III | Aucune Modification $E = 3893$ | | |

CONCLUSION:

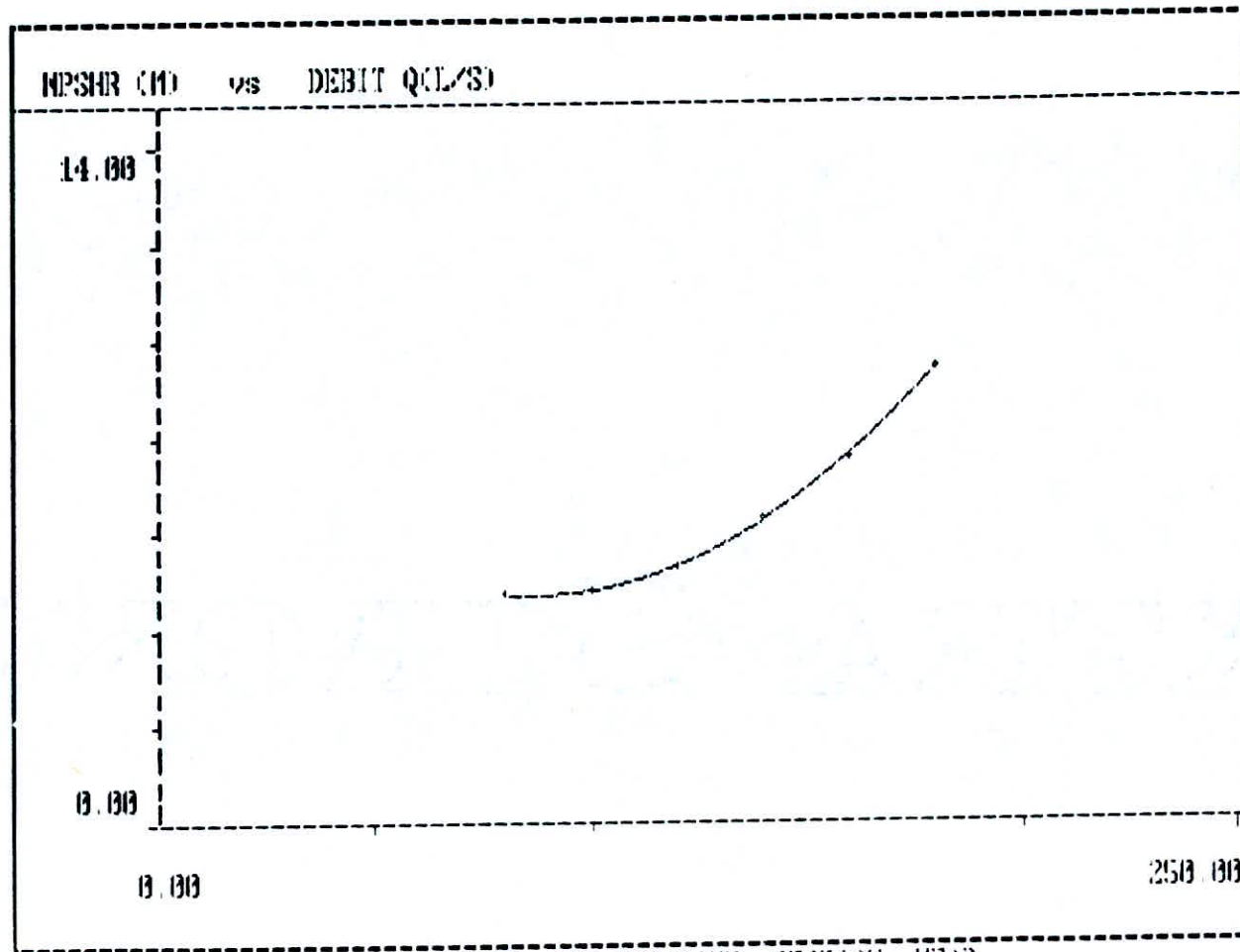
Bien que l'énergie consommée par la variante I par réduction du temps de pompage soit la plus petite, on opte pour la Variante III et ceci pour les raisons suivantes :

- Elle nous donne le point de fonctionnement voulu sans aucune modification.

- Souplesse dans le fonctionnement.



CARACTERISTIQUES POMPES / CONDUITE VAR 3



CARACTERISTIQUE NET POSITIVE SECTION HEAD

-
- Elle assure un fonctionnement stable.
 - La pompe de secours est plus avantageuse du point de vue fonctionnement et prix, car elle est identique aux trois autres pompes. Il est à noter qu'il n'y a pas de pompe de secours proprement dite vu que les pompes fonctionnent en cycle de trois.

IV-6 MOTEURS D'ENTRAÎNEMENT:

L'entraînement des pompes peut être assuré au moyen d'éoliens, de moteurs thermiques ou de moteurs électriques.

Si le premier de ces cas ne s'applique qu'à des installations d'ordre particulier, les deux autres constituent la généralité des cas rencontrés dans la pratique courante.

IV-6-1 CHOIX DU MOTEUR ELECTRIQUE:

Les pompes centrifuges s'adaptent mieux aux moteurs électriques. Dans le cas où le moteur n'est pas livré avec la pompe, le type de moteur à prévoir doit tenir compte de :

- Vitesse de rotation de la pompe.
- Puissance absorbée par la pompe.
- Disposition de l'arbre.
- Tension d'alimentation.
- Fréquence électrique.

Pour la détermination de la puissance du moteur, on prend en considération à savoir, le rendement du moteur et de la transmission. On utilise les moteurs asynchrones pour les pompes dont la puissance est inférieure à 300 KW, dans le cas contraire, les pompes seront entraînées par des moteurs synchrones.

La puissance des moteurs électriques est calculée par la formule

suivante :

$$P_M = \frac{P_P}{\eta_M \cdot \eta_{tr}} \quad (\text{KW})$$

P_P : Puissance de la pompe égale à 150 KW.

η_M : Rendement du moteur égale à 0,95.

η_{tr} : Rendement de la transmission égale à 0,98.

d'où :

$$P_M = 161 \text{ KW}$$

On majore de 10 % :

$$P_M = 172 \text{ KW}$$

D'après le catalogue des moteurs (L S P), en fonction de la Vitesse de rotation et de la puissance du moteur on trouve :

Type de moteur : L S P 315 M.

Puissance réelle : 200 KW.

Vitesse de rotation : 2970 tr/min.

Rendement des moteurs : 0,945.

Poids du moteur : 870 KG.

$$\cos \varphi = 0,88 \quad ; \quad I_n = 354 \text{ A.}$$

I_A : Intensité de démarrage.

I_n : Intensité nominale.

IV-6-2 SECOURS EN ENERGIE:

Dans les stations de pompage d'eau potable, la sécurité est un principe absolu, il est donc nécessaire de prévoir un secours en cas d'interruption du courant électrique.

Dans notre cas on a fait appel à une source d'énergie auxiliaire et autonome qui ne peut être que le groupe électrogène entraîné par un moteur diesel.

En cas de coupure ou de baisse de tension au dessous de la tension nominale (85%), le système de contrôle communique l'ordre de mise en marche du moteur diesel, les groupes électropompes seront ainsi séparés du réseau et raccordés au groupe électrogène.

PUISSANCE DU GROUPE :

La puissance de démarrage d'un groupe moto-pompe est :

$$P_{dem} = 1,3 \cdot P \cdot \frac{I_A}{I_n}$$

P_{dem} : Puissance de démarrage en KVA.

P : Puissance effective du groupe (= 200 KW).

$$\frac{I_A}{I_n} = 2 \quad (\text{démarrage en étoile triangle}).$$

$$P_{dem} = 560 \text{ KW.}$$

C'est la puissance de l'alternateur nécessaire pour le démarrage d'un seul moteur.

La puissance totale de l'alternateur est :

$$P_T = P_{dem} + 2 \cdot P = 960 \text{ KW.}$$

Il est recommandé une réserve de 20% pour couvrir d'autres besoins.

$$P_{gen} = P_T + 20\% = 1152 \text{ KW.}$$

IV-7 EQUIPEMENTS HYDRAULIQUES:

Les équipements hydrauliques d'une station de pompage comprennent:

- Equipements d'aspiration.
- Equipements de refoulement.

IV-7-1 EQUIPEMENTS D'ASPIRATION:

1. Crépine :

Elle est constituée par un cylindre perforé, et a pour rôle d'éviter l'entrée de corps solides dans la pompe.

2. Clapet d'aspiration:

Un clapet anti-retour placé sur la canalisation d'aspiration évite à l'arrêt de la pompe un retour d'eau, ce clapet peut être combiné avec la crépine pour former un clapet à crépine.

3. Joints:

Les joints sont utilisés pour le raccordement entre les différents appareillages tels que clapet, Vanne, pompe pour permettre leur montage et démontage en cas de réparation.

4. Vanne:

Une vanne montée à l'aspiration permet d'isoler la pompe pour travaux d'entretien ou de démontage sans pour autant arrêter toute la station.

Les vannes utilisées peuvent être soit des robinets vannes, soit des vannes à papillon.

5. Convergent d'aspiration:

La conduite d'aspiration est raccordée à la pompe par un convergent à génératrice supérieure horizontale, ce qui permet d'avoir une vitesse acceptable à l'entrée de la pompe (2 à 5 m/s),

et de limiter en même temps les pertes de charge à l'aspiration.

IV-7-2 EQUIPEMENTS DE REFOULEMENT :

1. Joint de raccordement :

Les joints sont utilisés pour le raccordement entre les différents appareillages, et évitent la transmission des efforts parasites de la conduite sur la pompe.

2. Divergent :

À la sortie de la pompe, la vitesse de l'eau est généralement assez grande, et peut engendrer des pertes de charge.

Pour ralentir cette vitesse, on place un divergent, constitué par un cône droit d'angle de 8 à 10°.

3. Clapet de refoulement :

Le clapet a pour but d'empêcher l'inversion du débit d'eau lors de l'arrêt de la pompe.

La fermeture brutale du clapet peut engendrer des surpressions (coup de clapet) qui peuvent provoquer une rupture de la conduite, il doit donc se fermer avant le retour de l'eau.

Notre choix s'oriente vers les clapets ayant une fermeture rapide (clapet à ressort).

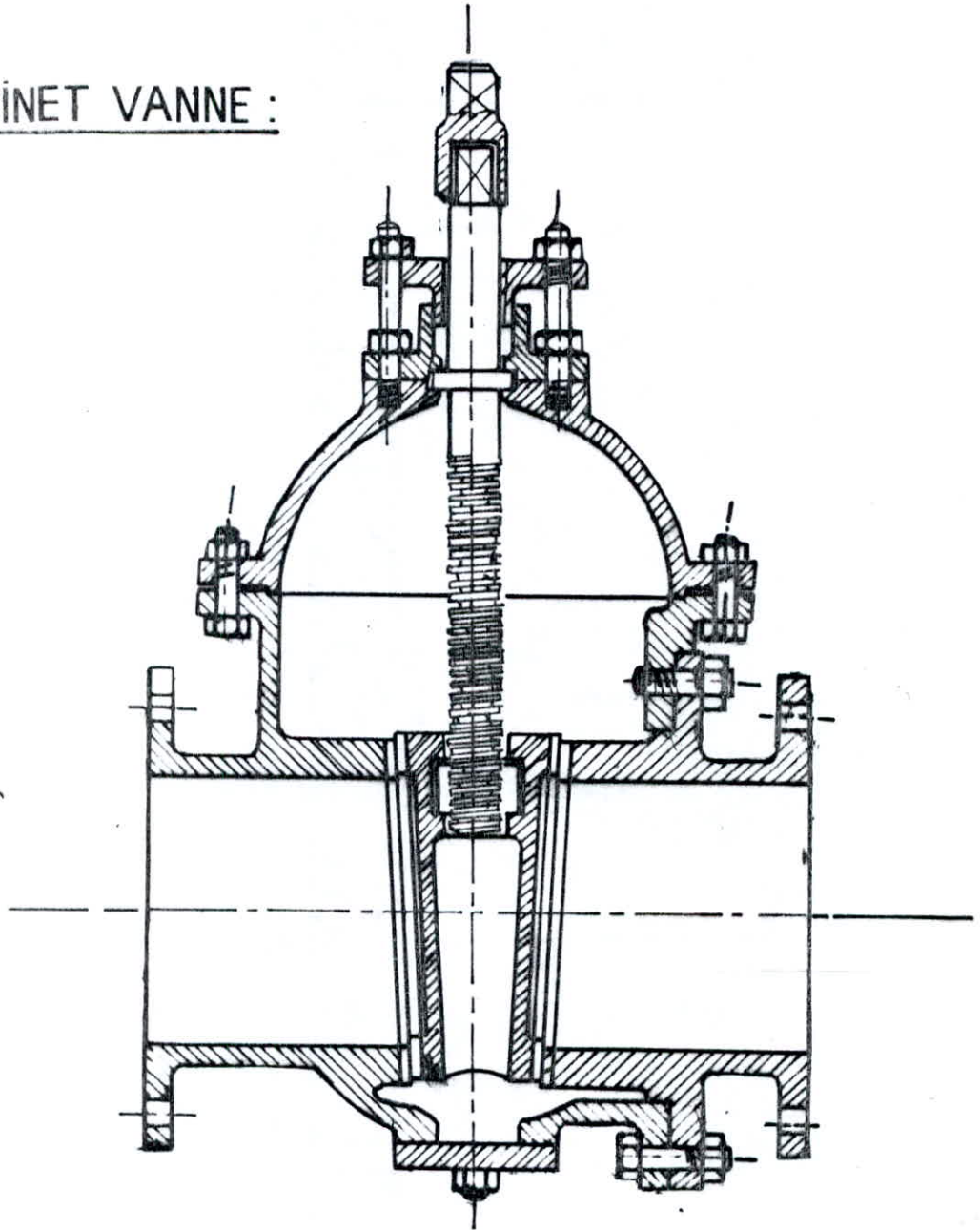
4. Vanne de refoulement :

La vanne de refoulement, placée après la pompe et le clapet anti-retour, peut avoir plusieurs rôles.

Elle permet d'isoler la pompe lors des entretiens, et intervient également lors de la mise en marche et de l'arrêt de la pompe.

La manœuvre progressive de la vanne de refoulement permettra lors du démarrage et de l'arrêt du groupe, de limiter les coups de bélier.

_ROBINET VANNE :



_CLAPET DE RETENUE:

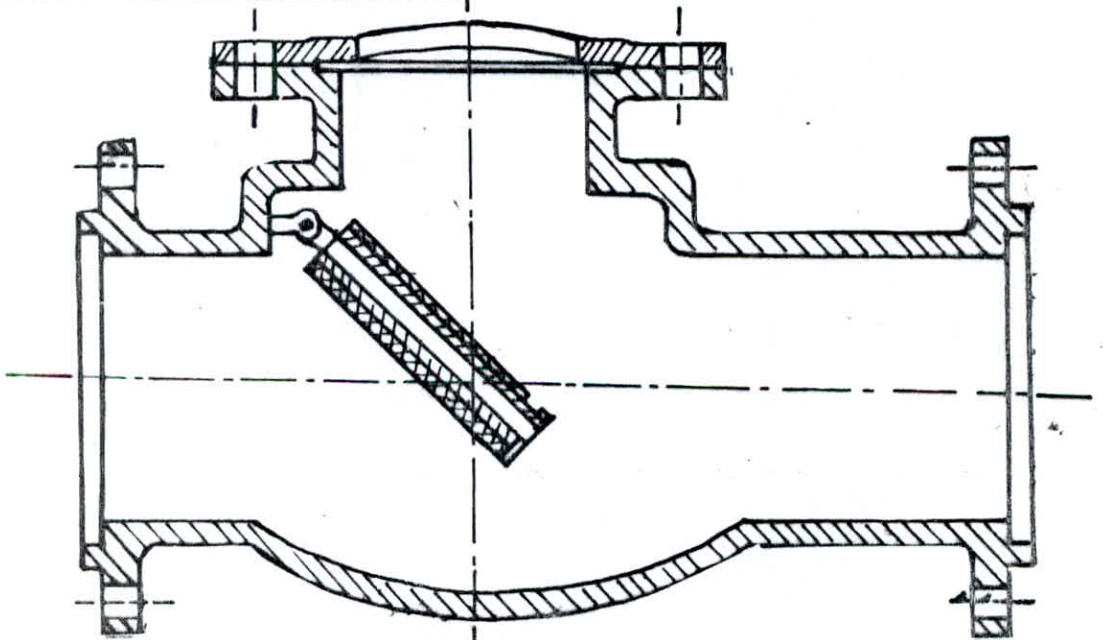
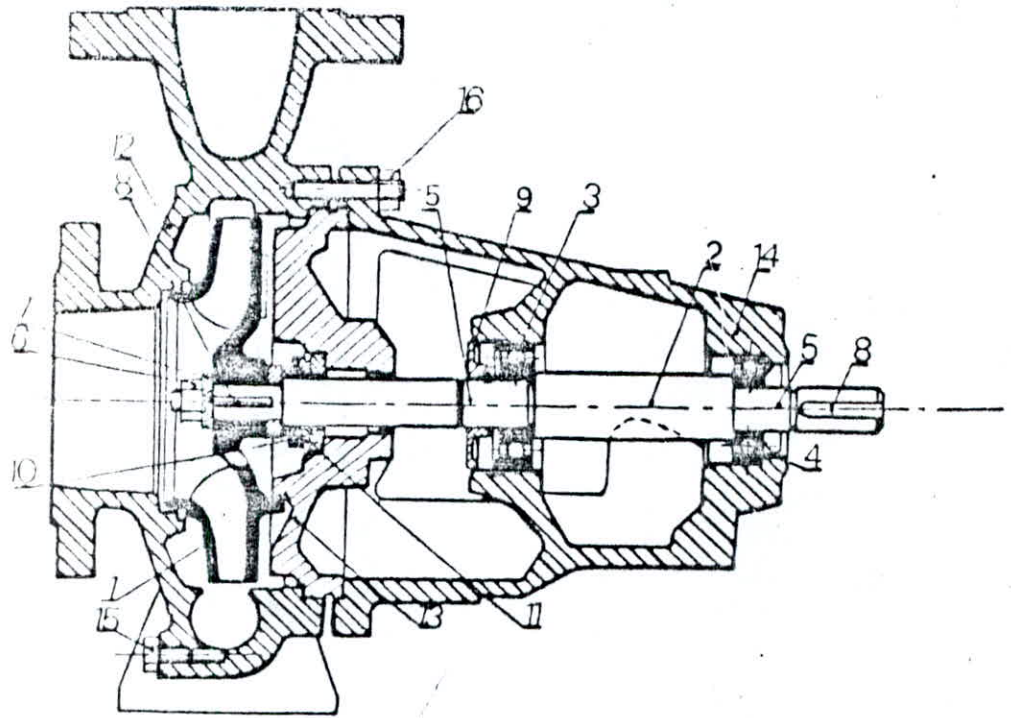


fig1. Pompe centrifuge



NOMENCLATURE :

- | | |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1. Roue | 9. Déflecteur |
| 2. Arbre | 10. Presse-étoupe |
| 3. Roulement | 11. Bague fixe |
| 4. Roulement axial | 12. Corps de pompe |
| 5. Graisseur de roulement | 13. Fond de boîte de garniture |
| 6. Ecrou de blocage | 14. Corps de palier |
| 7. Rondelle d'écrou | 15. Bouchon de vidange |
| 8. Clavette | 16. Vis de fixation |

V-1 DEFINITION

Dans un écoulement en charge, en mouvement permanent, il peut se produire des variations de débit ou de pression, d'où une modification générale du régime d'écoulement en un régime non permanent ; ce phénomène est appelé : coup de belier.

Le coup de belier est un phénomène oscillatoire caractérisé par des variations notables de la pression (surpression ou dépression) pouvant provoquer ainsi la destruction de l'installation.

V-2 ORIGINES DU PHÉNOMÈNE:

Le coup de belier est dû essentiellement à :

- Arrêt brutal d'un ou plusieurs groupes.
- Démarrage des pompes.
- Manœuvre rapide des vannes.

V-3 ANALYSE PHYSIQUE DU PHÉNOMÈNE

Considérons le cas où survient un arrêt brusque, quatre phases peuvent être envisagées :

1^{ère} phase : par suite de son inertie, la colonne d'eau va poursuivre son chemin ascendant, mais, n'étant plus alimentée, il va se produire derrière elle une dépression.

Chaque tranche, considérée de la conduite se contracte successivement par diminution élastique du diamètre.

Au départ de la pompe il se crée une onde de dépression qui se propage jusqu'au réservoir à une vitesse de célérité qu'on désigne par a .

Si la distance entre la pompe et le réservoir est L , donc le temps mis par cette onde pour atteindre le réservoir est $\frac{L}{a}$ pendant lequel la conduite est en dépression.

2^{ème} Phase : par suite de son élasticité, la conduite reprend son diamètre initial et cela, de proche en proche à partir du réservoir. L'eau revient alors dans la conduite et au bout d'un nouveau temps $\frac{L}{a}$, c'est à dire à $\frac{2L}{a}$ depuis l'origine du phénomène, toute l'eau est redescendue mais, va se trouver arrêtée par le clapet de la pompe qui entre temps s'est fermé.

3^{ème} Phase : En raison de cet arrêt, la 1^{ère} tranche en contact avec le clapet va se trouver comprimée, entraînant une dilatation de la conduite.

Les tranches qui suivent vont subir le même sort, l'onde de depression gagnant de proche en proche, dans le sens pompe-réservoir toute la canalisation, au bout d'un nouveau temps $\frac{L}{a}$, c'est à dire $\frac{3L}{a}$ depuis l'origine, toute la conduite sera dilatée avec une eau surpressée immobile.

4^{ème} Phase : Grâce à l'élasticité de la conduite qui agit à la manière d'un ressort reprend successivement sa forme à partir du réservoir en allant vers la pompe au bout d'un temps $\frac{L}{a}$, c'est à dire $\frac{4L}{a}$ depuis l'origine.

La période du mouvement est donc $\frac{4L}{a}$.

Le phénomène se reproduirait indéfiniment s'il n'était pas amorti.

V-4 MOYENS DE PROTECTION

Il faut tout d'abord signaler qu'il est impossible d'éliminer totalement le coup de bélier, cependant, il existe plusieurs moyens qui peuvent limiter les surpressions ou les depressions à une valeur compatible avec la résistance de la conduite.

Les appareils utilisés sont :

- Reservoir d'air et cheminée d'équilibre qui interviennent dans la protection contre les dépressions et les surpressions.

- Volant d'inertie, utilisé pour la protection contre les dépressions.

- Soupape de décharge, qui intervient dans la protection contre les surpressions.

V-4-1 VOLANT D'INERTIE

Il permet l'alimentation de la conduite après l'arrêt des moteurs en restituant l'énergie qu'il a accumulé, et augmente ainsi le temps d'arrêt de la pompe ($> \frac{2L}{a}$).

Son utilisation se limite à des conduites de faibles longueurs; Dans le cas contraire le poids du volant sera important.

V-4-2 SOUPE DE DECHARGE

Elles sont constituées par un organe mécanique, un ressort à boudin, qui en exploitation normale ferme un orifice placé sur la conduite au point où la surpression est maximale.

Elle doit s'ouvrir rapidement lorsque la pression est légèrement supérieure (5% environ) à la pression maximale de fonctionnement normal.

L'utilisation des soupapes de décharge nécessitent un entretien et une surveillance continue.

V-4-3 CHEMINÉE D'EQUILIBRE

La cheminée d'équilibre est un ouvrage peu utilisé pour la protection des canalisations de refoulement et encore beaucoup moins dans une station de pompage du fait des pressions rencontrées qui

rendent, ces ouvrages importants et coûteux.

V-4-4 RESERVOIR D'AIR

Le dispositif de protection par réservoir d'air est le procédé le plus répandu pour la protection de station de pompage. C'est un dispositif simple et facilement contrôlable. Le réservoir contient de l'eau et de l'air, en marche normale la pression de l'air équilibre la pression dans la conduite et à la disjonction du groupe le clapet se ferme, une partie de l'eau du réservoir est chassée dans la conduite, après une diminution progressive puis annulation de la vitesse de l'eau dans la conduite, l'eau revient en arrière et remonte dans le réservoir, ainsi la pression augmente dans la conduite de refoulement. La dissipation de l'énergie de l'eau peut être obtenue par le passage de celle-ci à travers un organe d'étranglement disposé à la base du réservoir d'air.

V-5 CALCUL DU RESERVOIR D'AIR

Les pertes de charge ne doivent pas être négligées du moment qu'elles contribuent à l'amortissement du coup de belier.

Pour amortir rapidement les oscillations, on intercale une tuyère dans la tubulure reliant le réservoir d'air à la conduite de refoulement.

Pour le dimensionnement du réservoir d'air, on utilise la méthode graphique de Bergeron, en considérant le cas le plus défavorable, c'est à dire, le cas où survient un arrêt brusque des pompes.

V-5-1 PRINCIPE DE CALCUL

Au départ, on fixe le volume d'air V_0 en régime normal, et

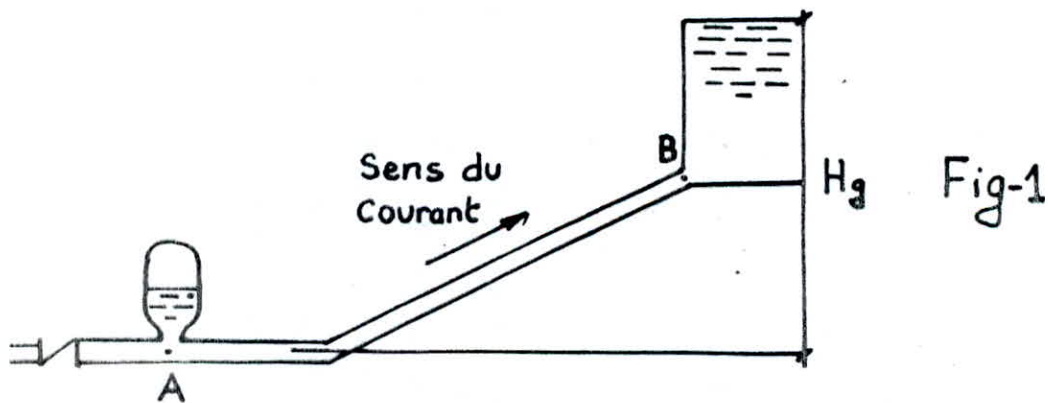
les dimensions du dispositif d'étranglement choisi (Luyère). Le principe de la méthode est :

1- L'application du diagramme de Bergeron, consiste à graduer les abscisses selon les vitesses de l'eau dans la conduite et les pressions absolues en ordonnées.

2- On prend, comme unité de temps $\theta = \frac{L}{a}$, et les intervalles de temps seront, considérés à rythmes entiers $n\theta$. Chaque intervalle est animé au début d'une vitesse V_{fn-1} et à la fin d'une vitesse V_{fn} tel que :

$$V_{fn-1} > V_{fn}$$

3- Soit $t_0 = 0$ l'instant initial du phénomène transitoire, au temps 1 le régime au réservoir (FIG-1) n'est pas encore perturbé, le point représentatif est le point 1B (FIG-2) de coordonnées V_0, z_0 où V_0 est la vitesse moyenne de l'eau en régime normal et z_0 la pression absolue ($H_g + 10$).



Un observateur part de B à l'instant 1 remonte le courant pour atteindre le point A à l'instant 2. Il voit donc le point 2A sur la droite de pente $+\frac{a}{gs}$, le point représentatif 2A est obtenu par l'intersection de la droite de pente $+\frac{a}{gs}$ avec l'horizontale passant par la valeur de la pression régnant dans la conduite.

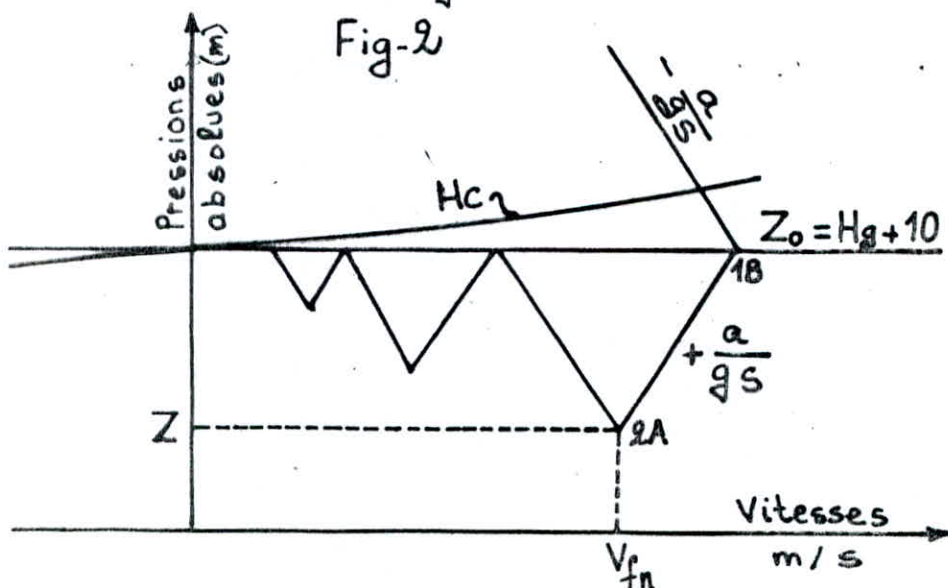
En négligeant la distance entre le plan d'eau dans le réservoir d'air et l'axe de la conduite, cette pression sera celle de l'air du réservoir d'air au moment considéré en tenant compte des pertes de charge dans l'organe d'étranglement.

Pour que le point 2A convienne, il faut qu'il corresponde à la vitesse finale V_f de l'eau choisi arbitrairement à la fin de l'intervalle de temps.

Cette construction doit s'effectuer alors par approximation successive.

Chaque droite $-\frac{a}{gS}$ se réfléchit sur l'horizontale passant par la valeur $\frac{gS}{Z_0}$.

Donc, en partant d'une vitesse finale choisie arbitrairement pour un intervalle de temps considéré, on calcule successivement à la fin de cet intervalle : la pression dans le réservoir d'air puis celle en aval de l'étranglement, une pression dans la conduite est ainsi trouvée, on mène alors une horizontale à partir de la valeur de cette pression qui doit couper la droite $\frac{a}{gS}$ au droit de V_f , sinon on refait le même calcul avec une autre valeur de V_f .



V-5-2 ETAPES DE CALCUL

a. Le diamètre de la tubulure doit être choisi inférieur ou égal à la moitié du diamètre de la conduite.

$$D_T \leq \frac{D}{2}$$

b. la célérité d'onde :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \frac{D}{e}}} \quad (\text{m/s})$$

D : Diamètre de la conduite (m).

e : épaisseur du tuyau (m).

K : Coefficient qui dépend de la nature du matériau de la conduite.

c. Le temps d'un aller retour de l'onde :

$$\theta = \frac{2L}{a} \quad (\text{s}).$$

d. Variation du volume d'air :

$$\Delta U = S \cdot \theta \cdot V_m$$

S : Section de la conduite (m^2).

V_m : Vitesse moyenne qui sera égale à la moyenne arithmétique des vitesses au début et à la fin d'intervalle de temps considéré.

Pour le premier intervalle θ :

$$V_m = \frac{V_0 + V_{f_1}}{2} \quad (\text{m/s})$$

V_0 : vitesse de l'eau en régime normal.

V_{f_1} : vitesse finale choisie à la fin de θ .

e - le volume U d'air du réservoir sera égal, à la fin du premier intervalle θ , au volume d'air choisi arbitrairement U_0 au départ, augmenté de la quantité mouillée à la colonne précédente. Pour les autres intervalles, les volumes s'ajoutent quand l'eau monte, puis se retranchent quand l'eau redescend.

F - la pression dans le réservoir d'air est exprimée par la relation de Poisson.

$$Z = \frac{Z_0 + \delta_0}{U^{1,4}} \cdot U_0^{1,4} \quad (m)$$

δ_0 : Perte de charge en régime normal (m).

U : Volume final d'air (m^3).

g - Diamètre de la tuyère sera calculé lors de la montée de l'eau vers le réservoir, par l'équation :

$$K = \frac{V_1^2}{V_f^2} = \frac{D^2}{d'^2}$$

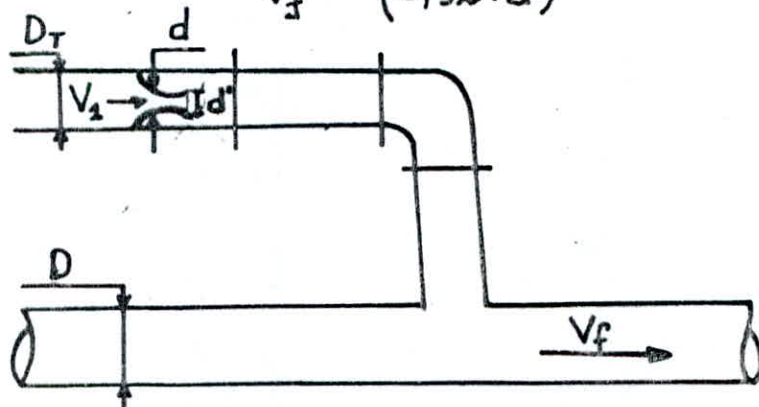
V_1 : Vitesse d'écoulement de l'eau dans la tuyère.

V_f : Vitesse finale de l'eau dans la conduite.

d' : diamètre de la veine contractée.

A la montée de l'eau la tuyère a un coefficient de débit de l'ordre de 0,92, d'où :

$$K = \frac{V_1}{V_f} = \frac{D^2}{(0,92 \cdot d)^2} ; K = 15 \div 20$$

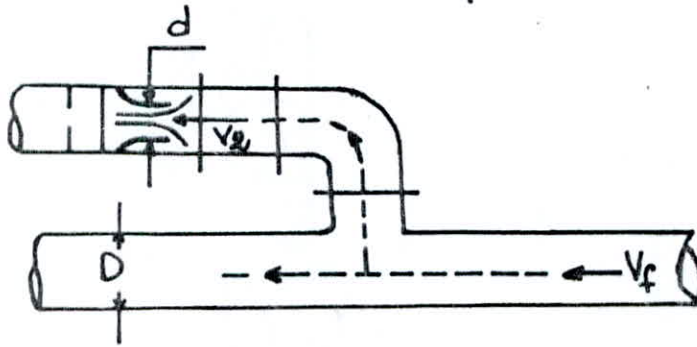


h - Les pertes de charge à la montée se calculent en fonction du rapport m des sections, dans la veine contractée et de la tubulure. On détermine ainsi graphiquement le coefficient de perte de charge c de la tuyère :

$$\Delta h_1 = c \cdot \frac{V_1^2}{2g}$$

i - Les pertes de charge à la descente de l'eau : la tuyère a un coefficient de contraction de 0,5.

$$K' = \frac{V_e}{V_f} = \frac{\pi \cdot \frac{D^2}{4}}{0,5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{2 \cdot D^2}{d^2}$$



L'eau de la conduite revient
dans le réservoir

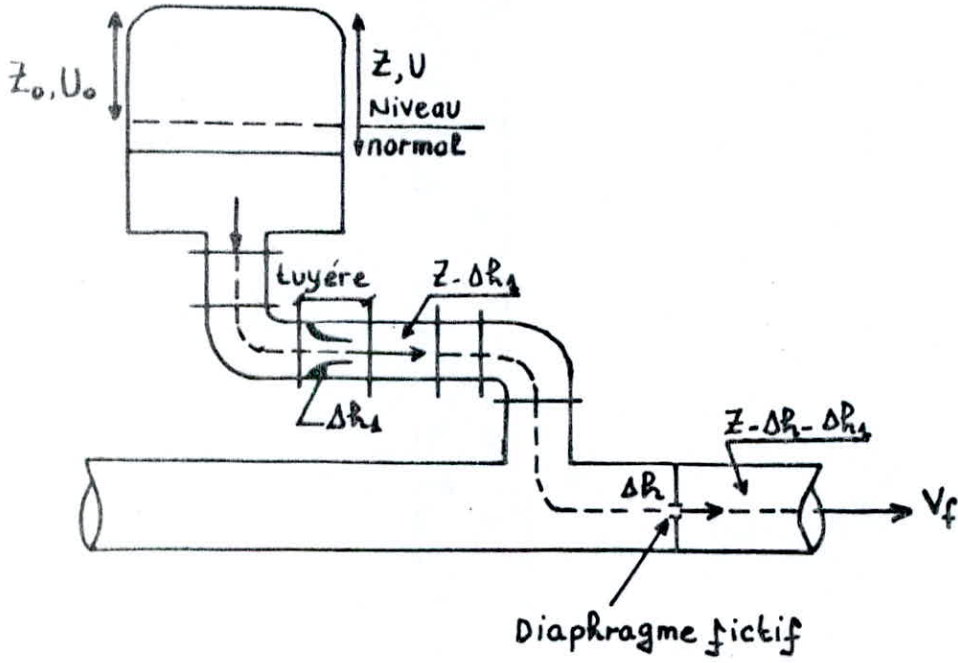
Le coefficient des pertes de charges à la descente est déterminé graphiquement à l'aide du rapport m , des sections de la veine contractée et de la tubulure.

$$\Delta h_2 = c' \cdot \frac{V_2^2}{2g}$$

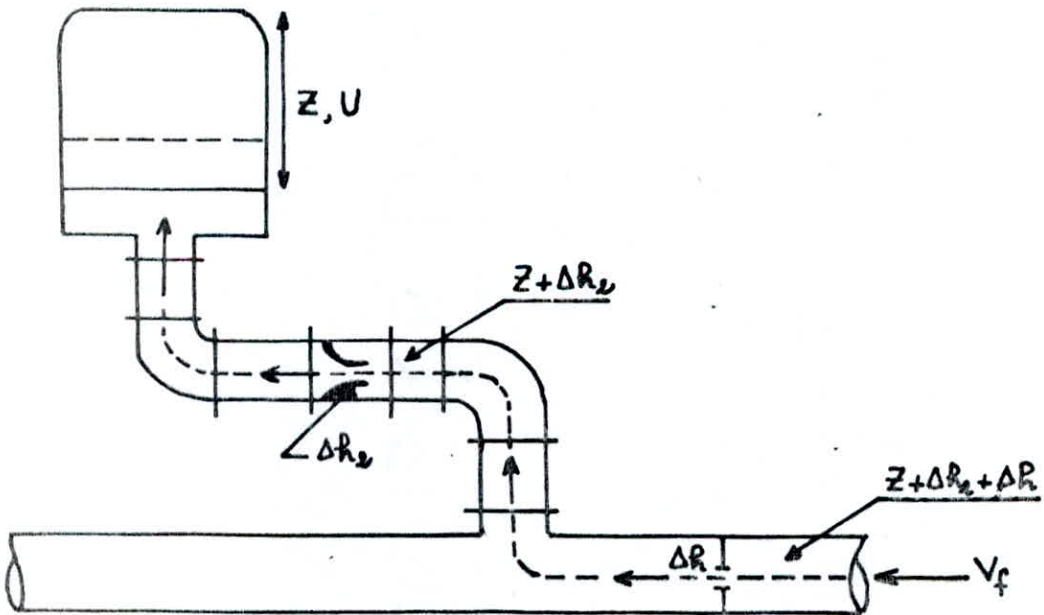
j - La pression absolue dans la conduite est :

$Z - \Delta h_1$: A la montée de l'eau.

$Z + \Delta h_2$: A la descente de l'eau.



Pertes de charge successives à la montée de
L'eau dans la Conduite



Pertes de charge successives à la descente de
L'eau dans la conduite

K - Pression dans la conduite de refoulement en aval du diaphragme fictif.

$Z - \Delta h_2 - \delta$: A la montée de l'eau.

$Z + \Delta h_2 + \delta$: A la descente de l'eau.

- Application :

Diamètre de la conduite de refoulement : $D = 600$ mm.

Longueur de la conduite de refoulement : $L = 900$ m.

Vitesse d'écoulement en régime normal : $V = 1,41$ m/s.

Hauteur géométrique : $H_g = 90$ m.

Épaisseur de la conduite : $e = 6$ mm.

Diamètre de la tubulure : $D_T = 300$ mm.

Diamètre de la tuyère : $d = 150$ mm.

Coefficient de débit de la tuyère lors de la montée égal 0,92.

Coefficient de contraction de la tuyère lors de la descente = 0,5.

La célérité de l'onde :

$$a = \frac{9900}{\sqrt{48,3 + K \cdot \frac{D}{e}}} = 998,52 \text{ m/s.}$$

avec : $K = 0,5$ (acier).

Temps d'un aller retour d'une onde :

$$\theta = \frac{2 \cdot L}{a} = 1,8 \text{ s.}$$

Valeur maximale du coup de belier :

$$B = \frac{a \cdot V_0}{g} = 143,5 \text{ m.}$$

Valeur maximale de la pression :

$$H_g + B = 233,5 \text{ m.}$$

Valeur minimale de la pression :

$$H_g - B = -53,5 \text{ m.}$$

Pertes de charge à la montée :

$$K = \frac{V_1}{V_f} = \frac{D^2}{(0,92 \cdot d)^2} = 18,9 ; K = 15 \div 20$$

$$V_1 = 18,9 \cdot V_f$$

$$m = \frac{(0,92 \cdot d)^2}{D_T^2} = 0,21 \xrightarrow{\text{Abaque}} C = 0,625$$

$$\Delta H_1 = C \cdot \frac{V_1^2}{2g} = 11,38 \cdot V_f^2$$

Pertes de charge à la descente :

$$K' = \frac{V_2}{V_f} = 2 \cdot \frac{D^2}{d^2} = 32$$

$$V_2 = 32 \cdot V_f$$

$$m' = 0,5 \cdot \frac{d^2}{D_T^2} = 0,13 \xrightarrow{\text{Abaque}} C' = 0,752$$

$$\Delta H_2 = C' \cdot \frac{V_2^2}{2g} = 39,25 \cdot V_f^2$$

Variation du volume d'air :

$$\Delta U = S \cdot \theta \cdot V_m = 0,51 \cdot V_m$$

Pression dans le réservoir d'air :

$$Z = \frac{(Z_0 + \delta_0) \cdot U_0^{1,4}}{U^{1,4}}$$

δ_0 : Pertes de charge en régime normal.

$$\delta_0 = \frac{\lambda L_e}{D} \cdot \frac{V_f^2}{2g}$$

$$L_e = 1,15 \cdot L_g$$

L_e : Longueur equivalente .

L_g : Longueur geometrique .

$$\delta = 1,281 \cdot V_f^2$$

$$\delta_o = 2,54 \text{ m} , U_o = 3 \text{ m}^3 , Z_o = 100 \text{ m}$$

$$Z = \frac{477,42}{U^{44}}$$

Pression dans la , conduite :

$$Z - \Delta h_1 = Z - 11,38 \cdot V_f^2 : \text{lors de la montée.}$$

$$Z + \Delta h_2 = Z + 39,25 \cdot V_f^2 : \text{lors de la descente.}$$

La pression finale dans la , conduite en aval du diaphragme fictif :

$$Z - \Delta h_1 - \delta = Z - 11,38 \cdot V_f^2 - 1,281 \cdot V_f^2 : \text{lors de la montée.}$$

$$Z + \Delta h_2 + \delta = Z + 39,25 \cdot V_f^2 + 1,281 \cdot V_f^2 : \text{lors de la descente.}$$

Representation de la droite de pente $\frac{a}{g s}$

$$\frac{a}{g s} = 360,049 \text{ s} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\frac{a}{g s} = \frac{b}{q} = \frac{360,049 \text{ m}}{1 \text{ m}^3/\text{s}}$$

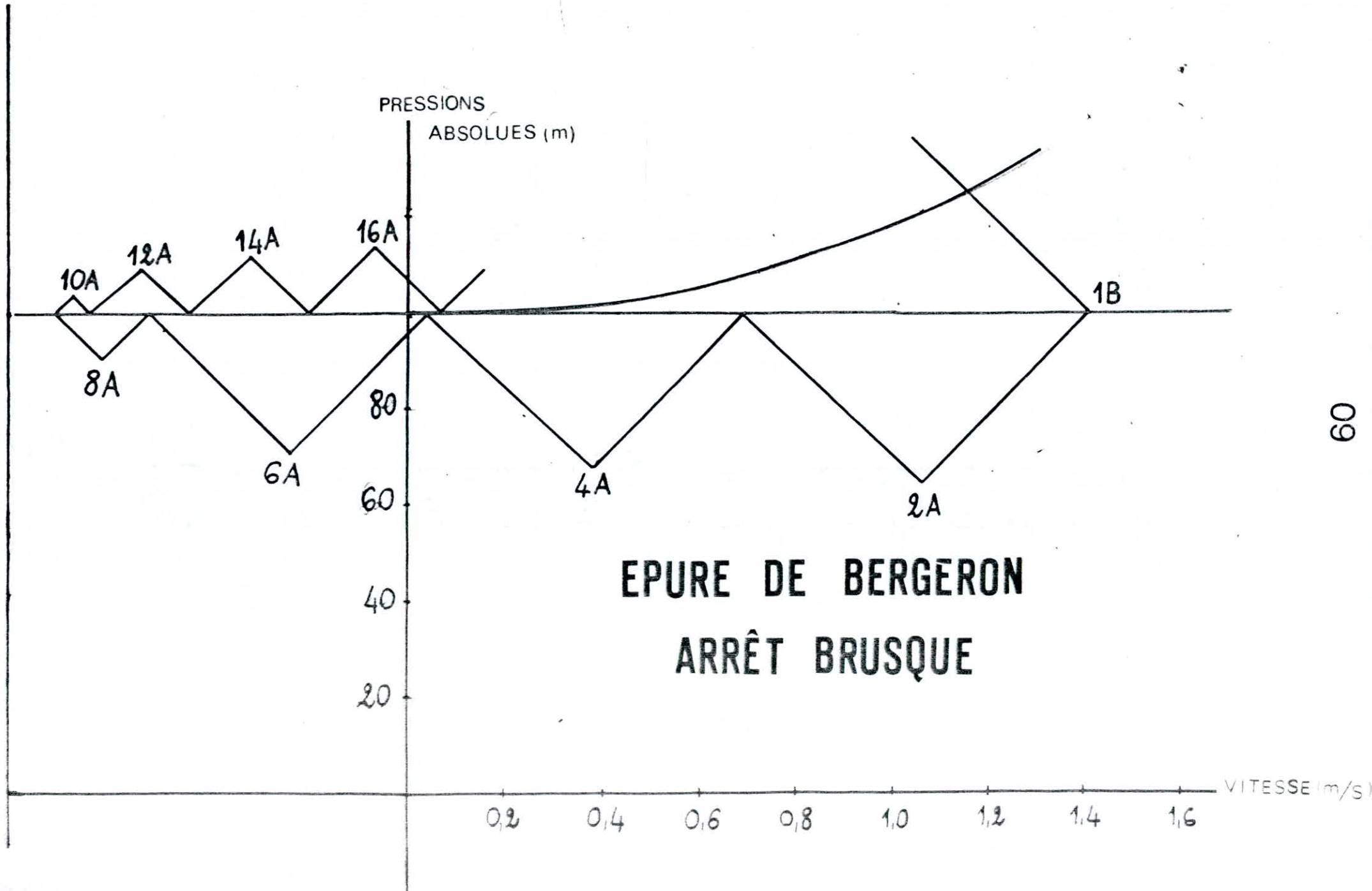
Echelle de b : 1cm represente 10 m \rightarrow 36,0049 cm represente 360,049 m

Echelle de q : 1cm represente 0,1 m/s \rightarrow 35,37 cm represente 1 m³/s .

$$\text{tg } \alpha = \frac{36,0049}{35,37} = 1,017$$

$$\alpha = 45,51.$$

| Intervalle de temps | Variation du Volume d'air $\Delta U = 0,51 \cdot V_m$ | Volume d'air U | Pression dans le réservoir d'air $Z = \frac{477,42}{114}$ | Vitesse de la tubulure de branchement M: $V_1 = 18,9 \cdot V_f$ D: $V_2 = 32 \cdot V_f$ | Pertes de charge M: $\Delta R_1 = 11,38 \cdot V_f^2$ D: $\Delta R_2 = 39,25 \cdot V_f^2$ | Pression dans la conduite avec pertes de charge M: $Z - \Delta R_1$ D: $Z + \Delta R_2$ | Pertes de charge au refoulement δ | Pression dans la conduite sans pertes de charge. M: $Z - \Delta R_1 - \delta$ D: $Z + \Delta R_2 + \delta$ | Vitesse lue sur le graphe V_f | Désignation du point | Vitesse moyenne V_m | Vitesse finale choisie V_f |
|---------------------|----------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------------|
| 0 | — | 3 | 102,54 | — | — | 102,54 | 2,54 | 100 | 1,41 | 1B | — | 1,41 |
| 0 | 0,627 | 3,627 | 78,611 | 19,845 | 12,546 | 66,065 | 1,413 | 64,651 | 1,05 | 2A | 1,230 | 1,05 |
| 20 | 0,362 | 3,989 | 68,814 | 6,993 | 1,558 | 67,256 | 0,176 | 67,080 | 0,37 | 4A | 0,710 | 0,37 |
| 30 | 0,031 | 4,020 | 68,084 | -8,000 | 2,453 | 70,537 | 0,080 | 70,617 | -0,25 | 6A | 0,060 | -0,25 |
| 40 | -0,227 | 3,793 | 73,844 | -20,480 | 16,077 | 89,921 | 0,525 | 90,446 | -0,64 | 8A | -0,445 | -0,64 |
| 50 | -0,342 | 3,451 | 84,280 | -22,400 | 19,233 | 103,513 | 0,628 | 104,140 | -0,7 | 10A | -0,670 | -0,7 |
| 60 | -0,321 | 3,130 | 96,649 | -17,920 | 12,309 | 108,958 | 0,402 | 109,360 | -0,56 | 12A | -0,630 | -0,56 |
| 70 | -0,227 | 2,903 | 107,375 | -10,560 | 4,274 | 111,650 | 0,140 | 111,789 | -0,33 | 14A | -0,445 | -0,33 |
| 80 | -0,105 | 2,798 | 113,036 | -2,560 | 0,251 | 113,287 | 0,008 | 113,295 | -0,08 | 16A | -0,205 | -0,08 |



V-5-3 INTERPRÉTATION :

Pendant la phase de dépression, le volume d'air, de 3 m^3 au départ (régime normal), passe à $4,020 \text{ m}^3$ à la fin de la dépression.

La pression dans la conduite tombe à $70,617 \text{ m}$, soit une dépression de :

$$100 - 70,617 = 29,383 \text{ m}$$

Pendant la phase de surpression, le volume d'air passe à $2,798 \text{ m}^3$ à la fin de la surpression.

La pression dans la conduite monte à $113,295 \text{ m}$, soit une surpression de :

$$113,295 - 100 = 13,295 \text{ m}$$

V-6 DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE :

Le volume d'air maximal trouvé est de $4,02 \text{ m}^3$, pour éviter que le réservoir ne se vide pas complètement on prend un volume final de $4,5 \text{ m}^3$ avec un diamètre de $1,25 \text{ m}$.

La section de la cuve :

$$S = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{(1,25)^2}{4} = 1,227 \text{ m}^2$$

La hauteur de la cuve :

$$H = \frac{V}{S} = \frac{4,5}{1,227} = 3,667 \text{ m}$$

La hauteur occupée par l'air en marche normale :

$$H_{\text{normale}} = \frac{U_0}{S} = \frac{3}{1,227} = 2,445 \text{ m}$$

Les variations maximales du niveau d'air :

- Pendant la phase de depression, le volume d'air augmente au maximum de : $4,02 - 3 = 1,02 \text{ m}^3$, par rapport au niveau normal le niveau de l'eau va s'abaisser de :

$$\frac{1,02}{1,227} = 0,83 \text{ m}$$

- Pendant la phase de surpression, le volume d'air diminue de : $3 - 2,798 = 0,202 \text{ m}^3$; par rapport au niveau normal, le niveau de l'eau va s'élever de :

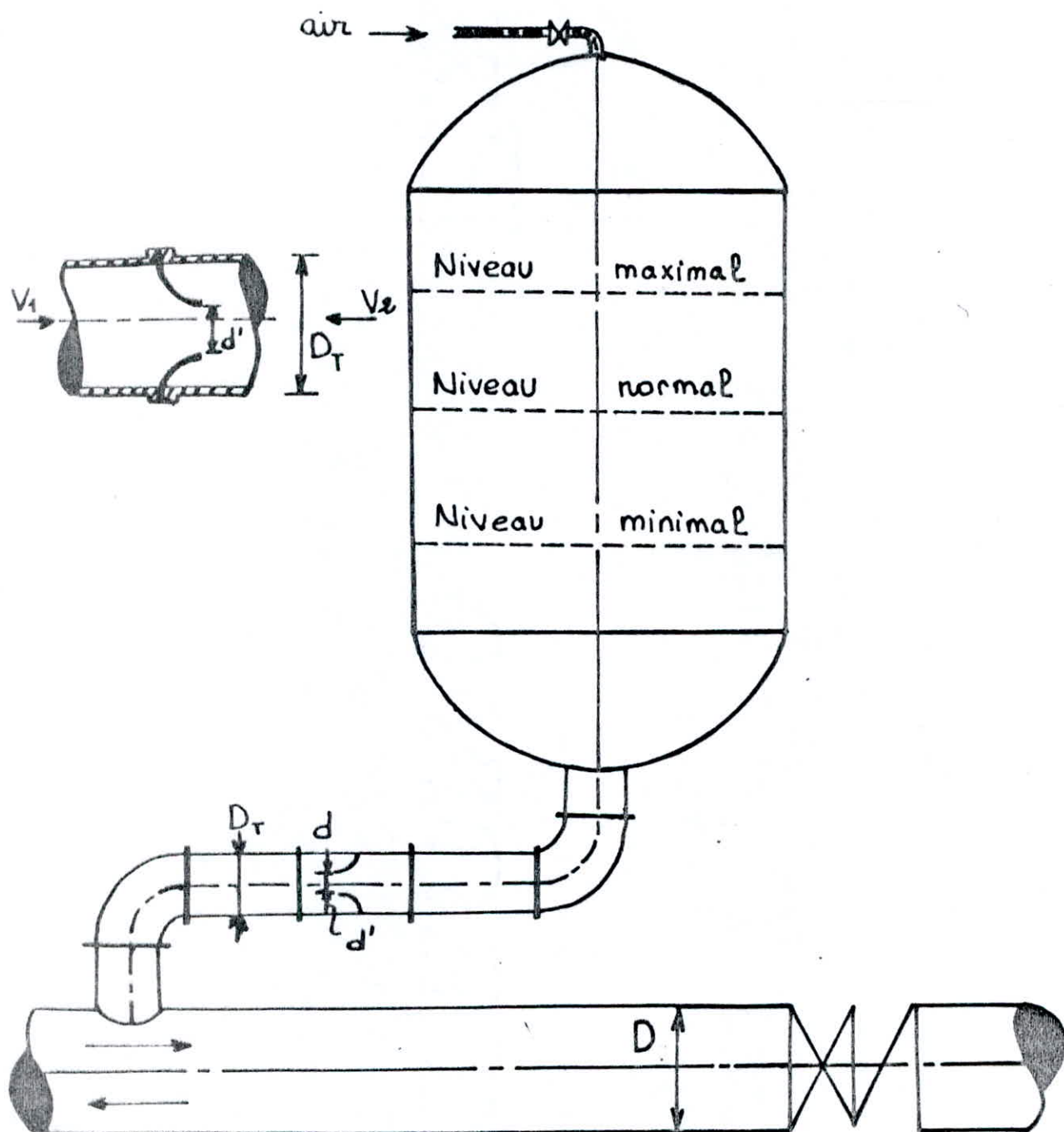
$$\frac{0,202}{1,227} = 0,165 \text{ m}$$

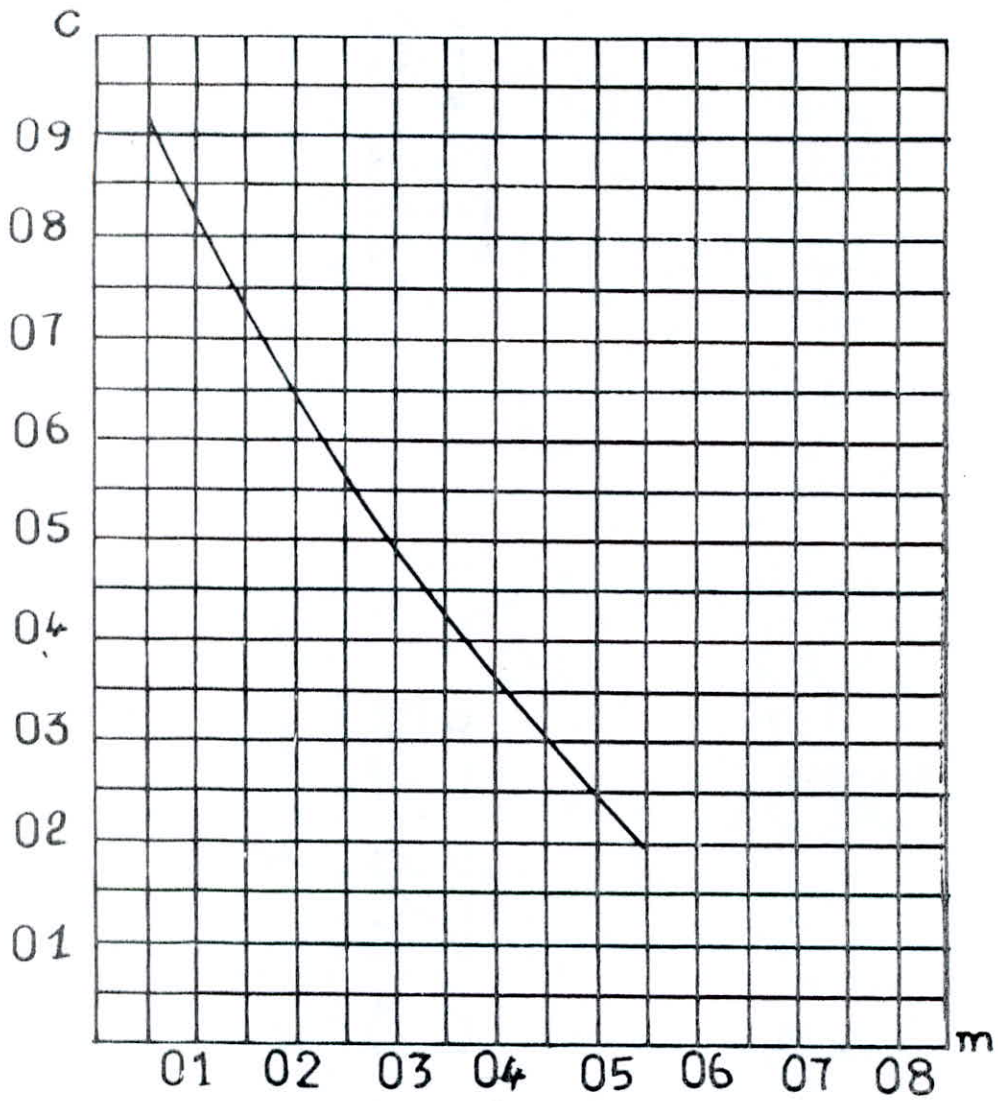
- EQUIPEMENTS DE LA CUVE :

Le reservoir d'air doit comporter les équipements suivants:

- Un manomètre
- Un niveau d'eau visible permettant de contrôler les niveaux d'eau atteints.
- Une vanne d'isolement
- Une arrivée d'air en provenance du compresseur.
- Un départ à la partie basse pour assurer le raccordement de la tubulure.

RESERVOIR D'AIR





COEFFICIENT DE PERTE DE CHARGE
DANS UNE TUYERE

Les pompes doivent être placées à un niveau déterminé pour améliorer les conditions d'aspiration et prévenir la cavitation.

VI-1 AMORÇAGE:

Les pompes ne sont pas construites pour aspirer de l'air, il est donc nécessaire d'amorcer la pompe afin de chasser l'air.

En général, le problème ne se pose pas pour les pompes à axes verticaux, du fait qu'elles fonctionnent et restent noyées même à l'arrêt.

Pour les pompes à axes horizontaux, de petites dimensions dont l'aspiration est munie d'un clapet de pied, il suffit de prévoir manuellement le remplissage de la conduite d'aspiration par de l'eau versée dans un entonnoir disposé sur la volute.

Dans le cas des installations plus importantes, l'amorçage peut être assuré par un système qui crée le vide dans la conduite d'aspiration.

L'amorçage peut être également réalisé en plaçant la pompe en charge, on maintient ainsi, même à l'arrêt la pompe et la canalisation pleines.

On opte pour ce mode d'amorçage qui est simple et ne fait appel à aucun appareillage particulier. Ce mode est à conseiller chaque fois qu'il est possible de le réaliser à condition que les dépenses dans le génie civil ne soient pas importantes.

VI-2 CAVITATION:

La cavitation est un phénomène qui ne se produit que dans les écoulements des liquides, elle correspond à une vaporisation du fluide qui se manifeste par l'apparition de bulles de vapeurs, lorsque la pression chute au dessous de la tension de vapeur.

Celle-ci est fonction de la température et marque le commencement de la vaporisation du liquide.

Les bulles de vapeur ainsi formées sont entraînées vers la région de hautes pressions, où elles disparaîtront sous l'action de jets d'eau provoquant ainsi une érosion du métal, des bruits et des vibrations. La cavitation est favorisée par la présence de débris solides ou de gaz.

VI-2-1 CHARGE NETTE A L'ASPIRATION:

Les essais de cavitation ont conduit à l'introduction de la notion de la charge nette à l'aspiration (NPSH) qu'il faut assurer à l'entrée de la pompe pour éviter le phénomène de cavitation. Le NPSH est par définition, la valeur de la pression absolue diminuée de la tension de vapeur pour la température de l'eau.

$$NPSH_r = \left(\frac{P_0}{\rho g} + \frac{C_0^2}{2g} \right) - \frac{P_s}{\rho g}$$

NPSH_r: c'est la caractéristique de la pompe fournie par le constructeur (m), c'est le NPSH_r requis.

P₀: Pression à l'entrée de la pompe. (Pa).

C₀: Vitesse à l'entrée de la pompe (m/s).

P_s: Tension de vapeur (Pa).

L'installation est caractérisée par son NPSH_d disponible.

$$NPSH_d = \frac{P_1 - P_s}{\rho g} - H_a - h'_a \text{ (en depression).}$$

$$NPSH_d = \frac{P_1 - P_s}{\rho g} + H_a - h'_a \text{ (en charge).}$$

H_a: Hauteur d'aspiration (m).

h'_a: Perte de charge à l'aspiration (m).

A la limite de la cavitation, le NPSH_r de la pompe et le NPSH_d de l'installation sont égales :

$$\text{NPSH}_d = \text{NPSH}_r$$

Pour éviter la cavitation, il faut respecter la relation suivante :

$$\text{NPSH}_d > \text{NPSH}_r$$

En examinant cette inégalité, on constate l'intérêt de diminuer les pertes de charge à l'aspiration.

La hauteur géométrique d'aspiration :

$$H_a = 3 \text{ m}$$

$\text{NPSH}_r = 6 \text{ m}$; $P_1 = 1 \text{ bar}$; $P_s = 0,024 \text{ bar}$ à $t = 20^\circ \text{C}$.

Il reste à calculer h_a .

Chaque pompe aura sa conduite d'aspiration, dont le diamètre sera calculé en fonction de la vitesse admissible.

| V_a (m/s) | D_a (mm) |
|-------------|------------|
| 0,7 ÷ 1,0 | ≤ 250 |
| 1,0 ÷ 1,5 | 250 ÷ 800 |
| 1,5 ÷ 1,8 | > 800 |

Debit de chaque pompe est :

$$Q = \frac{0,400}{3} = 0,133 \text{ m}^3/\text{s}.$$

On prend : $V = 1,5 \text{ m/s}$; d'où : $D = 336 \text{ mm}$.

On prend un diamètre normalisé de : 350 mm.

La nouvelle vitesse est : $V = 1,39 \text{ m/s}$ (convenable).

$$h'_a = h'_l + h'_s$$

h'_l : Pertes de charge linéaires estimées à 15% des h'_s .

h'_s : Pertes de charge singulières.

$$h'_s = \sum \xi_i \frac{V^2}{2g}$$

ξ : Coefficient des pertes de charge.

Les pertes de charge singulières sont dues à la présence des accessoires suivants :

- Crepine : $\xi_{ca} = 7,5$

- Clapet de pied : $\xi_{cp} = 2,5$

- Vanne : $\xi_v = 0,12$

$$\sum \xi = 10,12$$

$$h'_s = 1 \text{ m} \longrightarrow h'_a = 1,15 \text{ m}$$

$$NPSH_d = \frac{P_1 - P_s}{\rho g} + H_a - h'_a = 11,8 \text{ m}$$

Donc :

$$NPSH_d > NPSH_r \text{ (Vérifiée).}$$

- Détermination du débit Critique :

a - La courbe de $NPSH_r$ est remise par le constructeur, et celle du $NPSH_d$ peut être tracée en exprimant les pertes de charge en fonction du débit.

$$NPSH_d = \frac{P_1 - P_s}{\rho g} + H_a - h'_a$$

$$NPSH_d = 12,94 - 10,12 \frac{V^2}{2g}$$

$$NPSH_d = 12,94 - 10,12 \frac{Q^2}{2g \cdot S^2} = 12,94 - 55,72 \cdot Q^2$$

Le point d'intersection de $NPSH_r$ et $NPSH_d$ détermine le débit critique, c'est à dire le débit à partir duquel la cavitation se manifeste, mais en aucun cas le débit maximum ne peut être supérieur à ce débit critique. (fig 1).

$$Q_{cr} = 215 \text{ l/s}$$

b. Variation du débit en fonction de la hauteur géométrique:

Il est évident que lorsque la hauteur géométrique varie, le débit varie aussi. La variation de la hauteur géométrique est due essentiellement à l'abaissement du niveau d'eau dans la bache d'aspiration et dans le réservoir tampon, on va considérer chaque cas séparément:

- Dans la bache:

Lorsque le niveau d'eau baisse dans la bache, la hauteur géométrique augmente à une hauteur maximum de 93 m entraînant ainsi une diminution du débit. (fig-2).

$$Q_{3P} = 367 \text{ l/s}$$

$$Q_{1P} = 122,3 \text{ l/s}$$

- Dans le réservoir tampon:

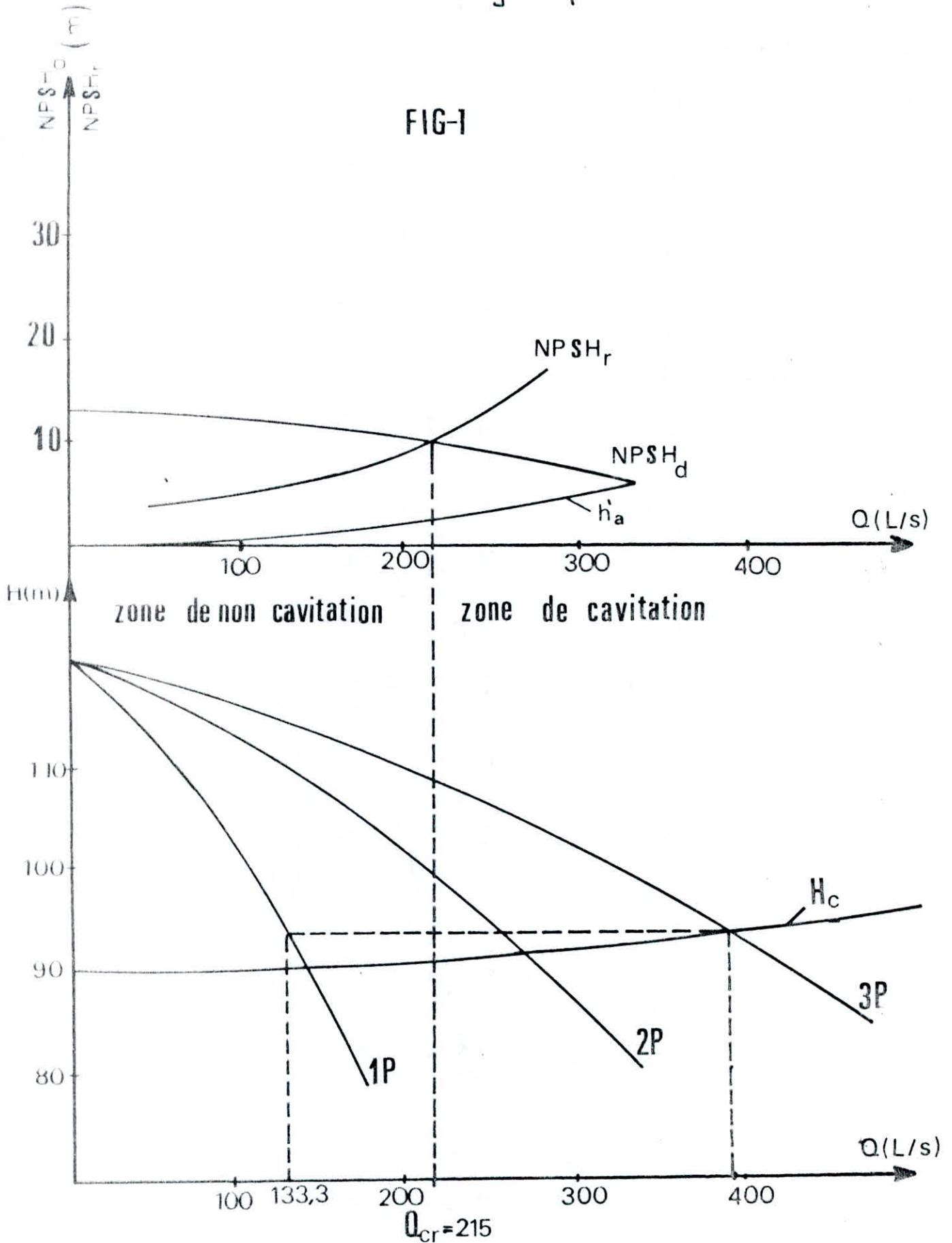
Dans ce cas lorsque le niveau d'eau baisse le débit augmente et ceci à cause de la diminution de la hauteur géométrique, qui peut avoir une valeur de 85 m. (hauteur d'eau dans le réservoir tampon est 5 m). (fig-2).

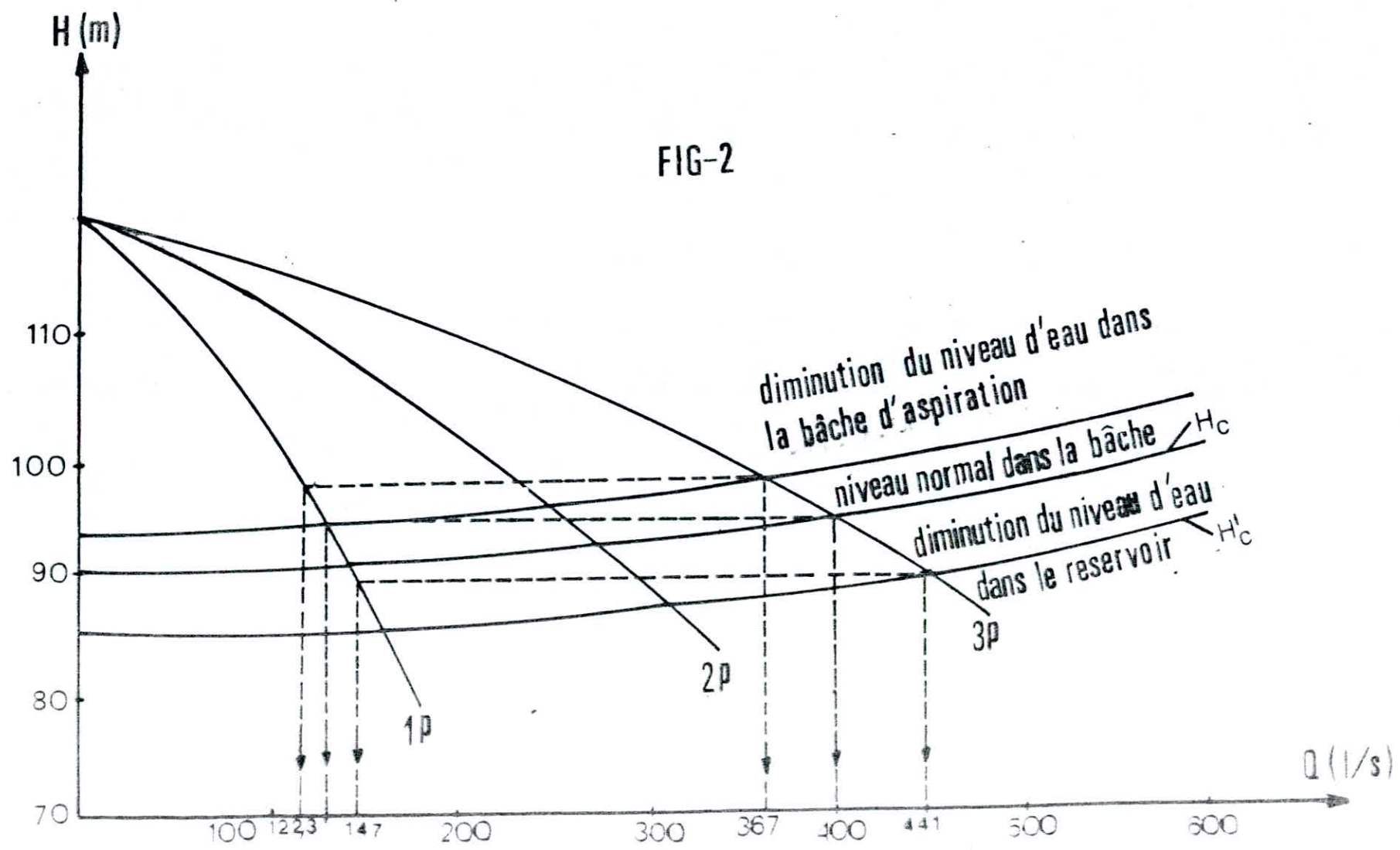
Le débit maximum:

$$Q_{3P} = 441 \text{ l/s}$$

$$Q_{1P} = 147 \text{ l/s} < Q_{cr} = 215 \text{ l/s}.$$

De ce fait, quelque soit le niveau d'eau dans la bache et dans le reservoir, la cavitation ne se manifeste pas.





CHAP VII AMENAGEMENT DE LA STATION

VII-1 BÂCHE D'ASPIRATION:

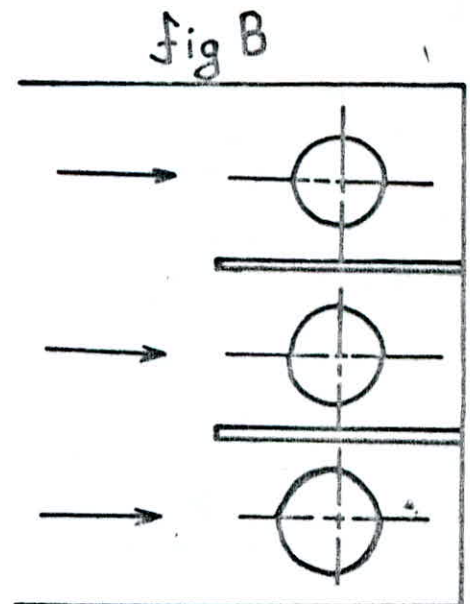
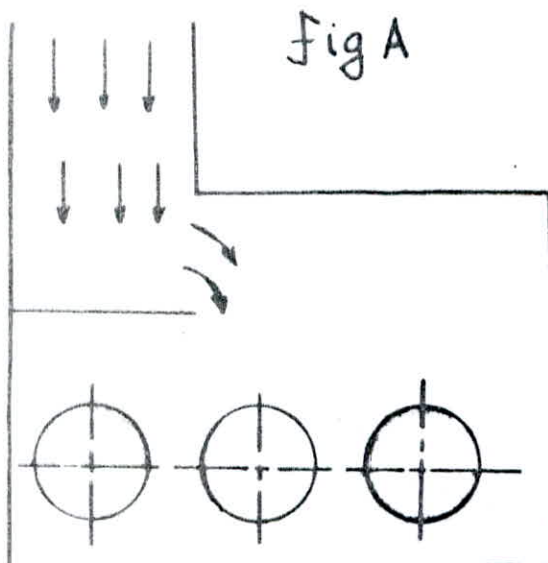
L'eau à élever est stockée dans une bache ou réservoir d'aspiration qui est en communication avec l'atmosphère, l'aspiration des pompes se fait directement dans la bache par une conduite qui amène l'eau à la bride d'aspiration.

VII-1-1 FORME DE LA BÂCHE:

Les bâches d'aspiration sont généralement de forme carrées ou rectangulaires, ces formes sont les plus employées à cause de leur facilité de construction.

Pour éviter les mouvements tourbillonnaires dans la bache, qui sont source de vortex, la vitesse de l'eau à l'entrée de la bache doit être faible.

Des dispositions constructives peuvent être prévues pour améliorer les conditions d'écoulement telle que la disposition d'une paroi à l'entrée de la bache (fig A), séparation des tubulures d'aspiration des pompes par des écrans pour éviter les influences mutuelles (fig B).



VII -1-2 DIMENSIONNEMENT:

La capacité de la bache d'aspiration est fonction de la différence entre les débits entrants et sortants, cette différence est liée à la durée de pompage. Cette dernière a été choisie de façon à ce que la bache ne stocke pas l'eau, mais elle sert uniquement de transit, cependant son volume utile est fonction du temps qui sépare deux démarrages consécutifs du groupe.

$$T = t_v + t_r$$

T : période qui sépare deux démarrages consécutifs.

t_v : temps de vidange de la bache d'aspiration.

t_r : temps de remplissage de la bache d'aspiration.

$$t_v = \frac{V_u}{Q_m - Q} \quad ; \quad t_r = \frac{V_u}{Q}$$

V_u : Volume utile de la bache d'aspiration.

Q_m : Débit entrant dans la bache.

Q : Débit sortant de la bache.

Le débit sortant est une fraction du débit entrant dans la bache.

$$Q = x \cdot Q_m \quad \text{avec} : 0 < x < 1$$

d'où :

$$T = \frac{V_u}{Q_m - x Q_m} + \frac{V_u}{x Q_m} = \frac{V_u}{Q_m} \left[\frac{1}{1-x} + \frac{1}{x} \right]$$

on pose :

$$y = \frac{1}{1-x} + \frac{1}{x}$$

d'où :

$$T = \frac{V_u}{Q_m} y$$

$$T = T_{\min} \quad \text{on a : } \frac{dT}{dx} = 0$$

$$\text{d'où : } x = \frac{1}{2} \quad \text{et } y = 4$$

Le temps minimal qui sépare deux démarrages consécutifs est :

$$T = \frac{4 \cdot V_u}{Q_m}$$

$$\text{d'où : } V_u = \frac{T \cdot Q_m}{4}$$

Dans le cas de plusieurs pompes identiques :

$$V_u = \frac{T \cdot Q_m}{4 \cdot n}$$

T est fonction de la puissance du moteur : $T = 15 \text{ min}$

$n = 3$ pompes

$$V_u = \frac{T \cdot Q_m}{12}$$

$$V_u = 30 \text{ m}^3$$

Pour satisfaire les besoins du personnel et de l'installation (y compris la station de traitement), et pour plus de sécurité, on prend un volume de 60 m^3 .

On distingue trois hauteurs définies, comme suit :

$$h_m = 0,5 \text{ m.}$$

h_m : correspond au niveau minimal de l'eau dans la bache, à partir de laquelle le pompage de l'eau s'arrête pour éviter l'introduction de l'air, appelée hauteur morte.

$$H_a = 3 \text{ m.}$$

H_a : hauteur géométrique de l'aspiration.

$$h_z = 0,5 \text{ m}$$

h_z : hauteur au dessus de la surface libre.

La hauteur d'eau dans la bache :

$$H = H_a + h_m = 3,5 \text{ m}$$

La bache est de forme rectangulaire d'une longueur de 6m, et d'une largeur de 2,9 m, équipée d'un trop plein. Les tubulures d'aspiration sont séparées par des cloisons carrées de dimensions 1m x 1m espacées de 1,5 m.

VII-2 SALLES DES MACHINES

La salle des machines comme son nom l'indique est destinée à abriter l'ensemble des installations, à savoir les équipements hydromécaniques et énergétiques.

La salle des machines est dimensionnée en tenant compte de :

- L'équipement à l'aspiration (Convergent, Vanne, joints,) dont la longueur totale est estimée à 2 m.

- L'équipement au refoulement (divergent, Vanne, Clayet, joint) dont la longueur totale est estimée à 2 m.

- La taille du groupe électro-pompe : chaque pompe est accouplée à son moteur électrique formant ainsi un groupe moto-pompe, l'ensemble est scellé sur un massif en maçonnerie (1m x 1,5m) dont le niveau supérieur est à 10 cm environ du sol du local.

- L'écartement entre deux groupes consécutifs est de 1m pour faciliter le passage du personnel.

- La surface de réparation.

- La hauteur totale de la salle comprend :

La profondeur de la partie enterrée : 3,5 m

La hauteur de la partie surélevée : 3,5 m.

Ainsi, la salle des machines aura pour dimensions :

Longueur : 14 m.

Largeur : 7 m.

Hauteur : 7 m.

La salle des machines doit être équipée d'un système de Ventilation, et d'un dispositif de levage (pont roulant) permettant le transport des équipements à la surface de réparation et en dernier lieu les moyens de lutte contre les incendies (extincteurs).

En outre, cette salle doit contenir le tableau de commande et de contrôle, qui groupera notamment :

- La commande des groupes.
- Les indications hydrauliques : débits, Pressions, hauteurs d'eau dans la bache d'aspiration et dans le réservoir tampon.

VIII-1 INTRODUCTION:

Dans la plupart des cas, la commande des pompes est assurée en fonction du niveau d'eau dans :

- La bache d'aspiration .
- Le réservoir .

Il s'agit de démarrer et d'arrêter les pompes à des niveaux déterminés, pour cela on est amené à réaliser les opérations suivantes:

- L'arrêt du pompage d'eau lorsque le niveau d'eau dans la bache d'aspiration s'abaisse au dessous d'un niveau déterminé.
- L'arrêt du pompage lorsque le niveau d'eau dans le réservoir atteint son maximum.
- La reprise du pompage dès que le niveau d'eau dans la bache s'élève, ou s'abaisse dans le réservoir .

Pour pouvoir réaliser ces opérations dans le minimum de temps, il est indispensable de les rendre automatique .

VIII-2 LIAISON BACHE-MOTEURS

Elle est réalisée par l'installation dans la chambre d'aspiration, de 3 flotteurs F_1, F_2, F_3 reliés respectivement aux interrupteurs des pompes P_1, P_2 et P_3 .

Le flotteur F_1 est installé au niveau minimal de l'exploitation de la bache d'aspiration, le flotteur F_3 est placé au niveau maximum de l'eau, et le flotteur F_2 sera placé entre les flotteurs F_1 et F_3 .

Des flotteurs intermédiaires peuvent être placés à plusieurs niveaux, chacun d'eux est relié à une lampe afin d'avoir une

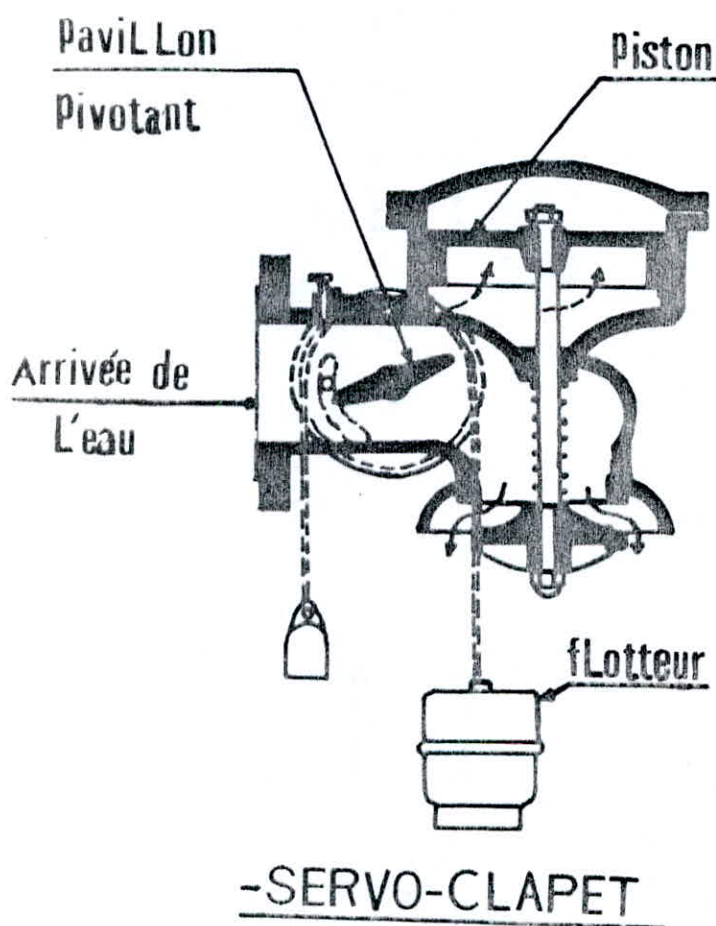
Valeur approchée du niveau d'eau dans la bache d'aspiration.

VIII-3 LIAISON MOTEUR-RESERVOIR :

Cette liaison peut-être réalisée avec ou sans ligne pilote.

1. Commune sans ligne pilote :

Lorsque la distance entre la station et le réservoir est importante, l'installation des lignes électriques devient coûteuse, on fait alors appel au servo-clapet qui présente une bonne étanchéité. Quand le niveau d'eau monte dans le réservoir, il entraîne avec lui le flotteur qui fait pivoter la vanne papillon, ce qui crée une surpression qui sera transmise au piston, celui-ci soulève et entraîne avec lui la soupape qui lui est solidaire, ainsi l'écoulement est interrompu. L'arrêt des pompes peut-être réalisé à l'aide d'un relais manométrique. (fig).



2 - Commande par ligne pilote :

Elle est utilisée lorsque la distance entre la station et le réservoir n'est pas importante, elle permet de réaliser la transmission des niveaux d'eau à distance, et assure l'arrêt ou la marche des groupes en fonction de la hauteur du plan d'eau. On installe dans le réservoir trois flotteurs, à des hauteurs différentes, chacun d'eux assure le démarrage et l'arrêt d'un groupe.

VIII-4 CAPTEURS :

La station de pompage doit être équipée de plusieurs instruments de mesure, des différentes grandeurs telles que : débit, Pression, intensité et puissance.

Les instruments peuvent être :

- Pour la mesure du débit :

- Appareils deprimogènes : Venturi, diaphragme.

- Capteurs électromagnétiques.

- Pour la mesure de la pression :

- Manomètres.

- Capteurs piézoélectriques.

- Pour la mesure de l'intensité :

- Ampèremètres.

- Pour la mesure de la puissance :

- Wattmètres.

VII-5 MISE EN ROUTE DU GROUPE :

La première mise en route du groupe s'opère de la manière suivante :

Demarrer le moteur à vitesse normale en étoile-triangle avec vanne de refoulement fermée, Vérifier au manomètre que la pression, croît régulièrement, Procéder ensuite à l'ouverture progressive de la vanne de manière à amener le point de fonctionnement dans la zone d'utilisation prévue.

Vérifier qu'il n'y a pas de pertes au niveau de la pompe.

CHAP IX CONCLUSION

- Pour éviter le pompage de l'eau brute, on a choisi trois sites qui permettent un écoulement gravitaire du Barrage jusqu'à la station de traitement.

L'étude économique faite a permis d'opter pour le site C situé au nord Est de Sidi Ammar.

Pour une exploitation équilibrée les quatre pompes vont fonctionner d'une manière cyclique, c'est à dire les pompes N°1, 2, 3 fonctionnent et la pompe N°4 au repos, puis les pompes N°1, 2, 4 fonctionnent et la pompe N°3 au repos et ainsi de suite.

Pour le secours en Energie, on a prévu un groupe électrogène. Ce dernier nous permet un secours de 100%, ce qui n'est pas le cas avec un moteur diesel.

Enfin nous souhaitons que cette modeste étude peut servir de référence pour l'élaboration des projets de station de pompage

BIBLIOGRAPHIE

| TITRES | AUTEURS | EDITIONS |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| - Hydraulique Urbaine TII | Dupont | Eyrolles 1979 |
| - Exercices et projets | Dupont | Eyrolles 1980 |
| - Stations de pompage d'eau | AGHTM | Lavoisier 1986 |
| - Pompes Hydrauliques et appareils elevatoires | Ducros | Dunod 1967 |
| - Pompes Centrifuges et pompes Helices | Stepanoff | Dunod 1961 |
| - Station de pompage | HuLin (Polycopié - INA) | 1979 |
| - Guide d'établissement des Projets des Stations de pompage | Pounis (Polycopié - ENSIH) | 1988 |
| - [1]: calcul direct de la perte de charge par la formule de Colebrook | J. Nackab | Houille Blanche. OCT 1988 |

154

120

STATION DE POMPAGE

60

LIGNE PIÉZOMÉTRIQUE

RESERVOIR
TAMPON

REPUBLIQUE ALGERIENNE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
DEPARTEMENT HYDRAULIQUEPB n° 389
- 1 -STATION DE POMPAGE
DE BOUKOURDÉNEProfil en long :
SP-RT

HORIZONTALE 1/1000

VERTICALE 1/100

DRESSÉ PAR : M. LAKHOUARI, A. M. NEHMAR, B.

CONTROLÉ PAR : M. TAOUZ ZADE, M. BELHADJ, O.

PROMOTION : JUN 82 FLANCHE N° 1

| |
|----------------------------|
| DISTANCES FAITELLES |
| DISTANCES CURVILLES (m) |
| COTE DU TERRAIN NATUREL |
| COTE DE LA GÉNÉRATRICE SUP |
| DIAMÈTRE |
| PENTE |

500

600

0.08

400

600

0.08

100 100/1500

100 100/1500



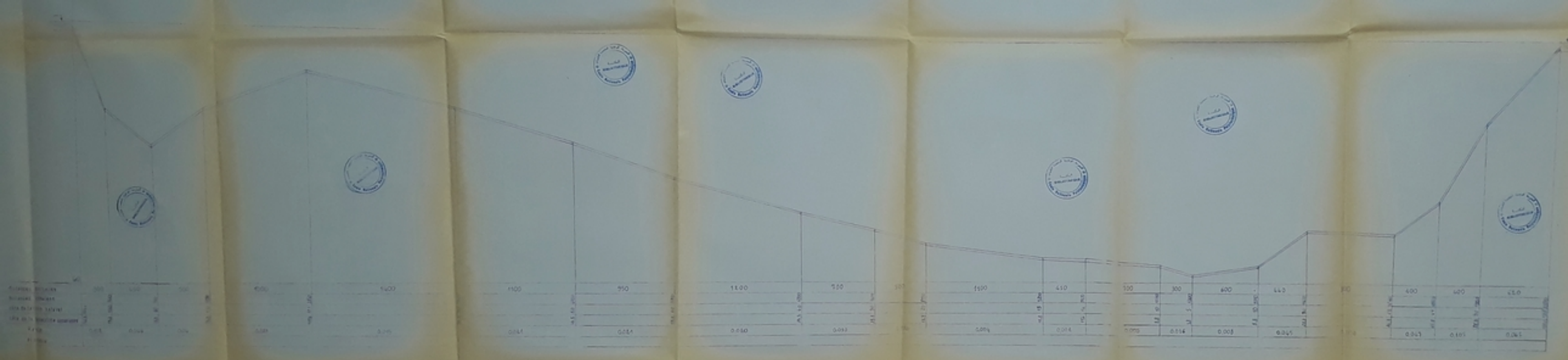
REPUBLIQUE ALGERIENNE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE D'ALGER
 DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

STATION DE POMPAGE
 DE BOUKOURDENE

profil en long
 RT-R2

| | | |
|-------------|-----------|-----------|
| DATE DE | UNITE | NUMERO |
| REVISION DE | M. Taguez | M. Bouhad |
| REVISION | DATE | PROFITEUR |



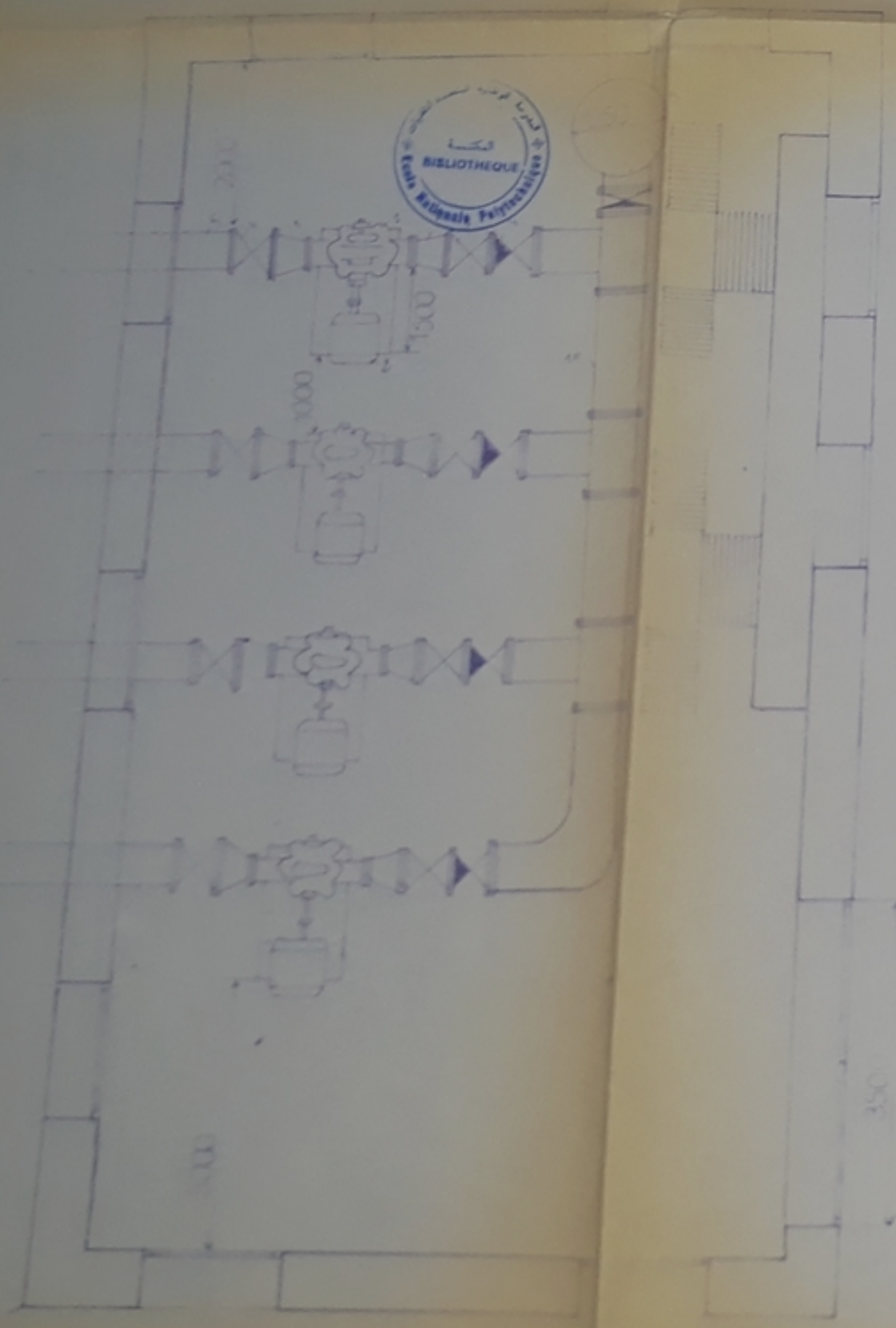
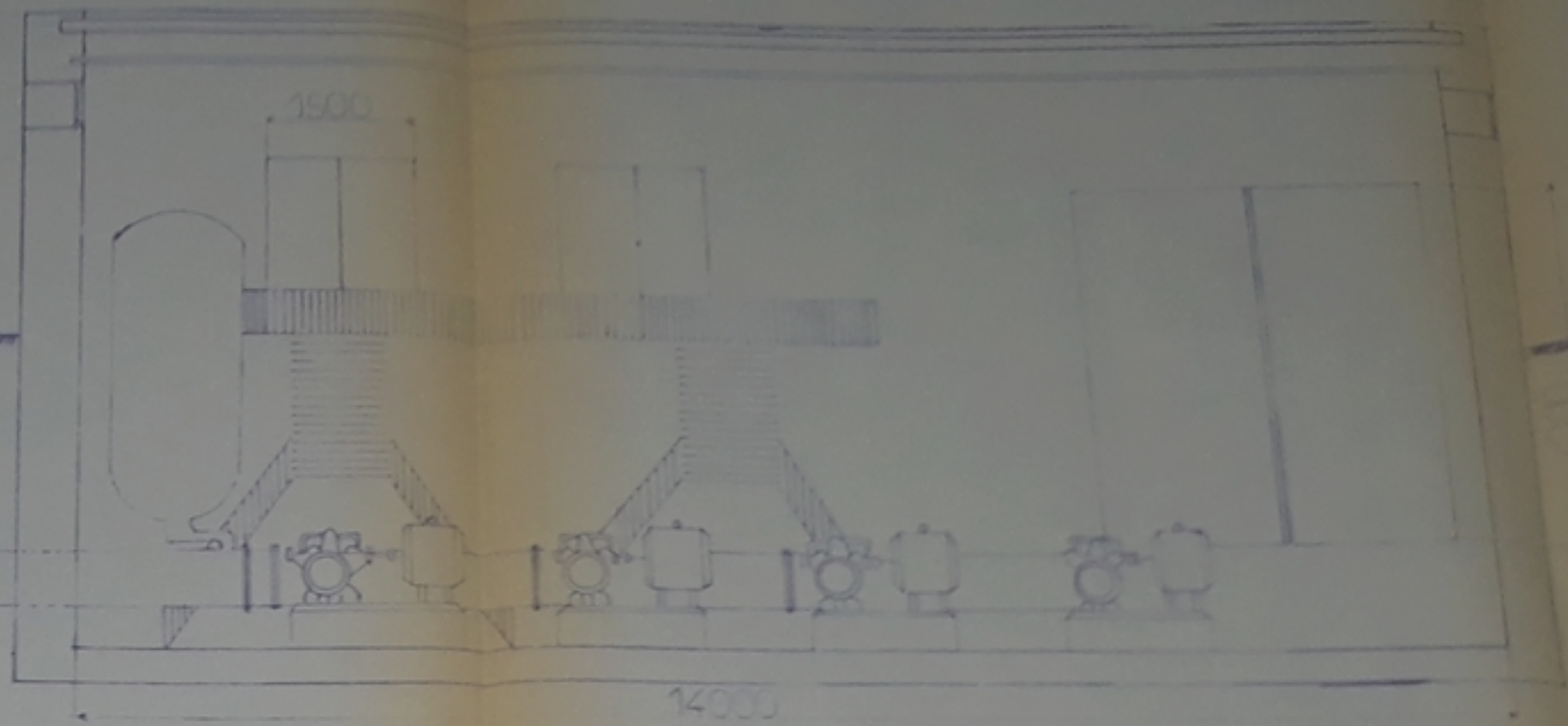
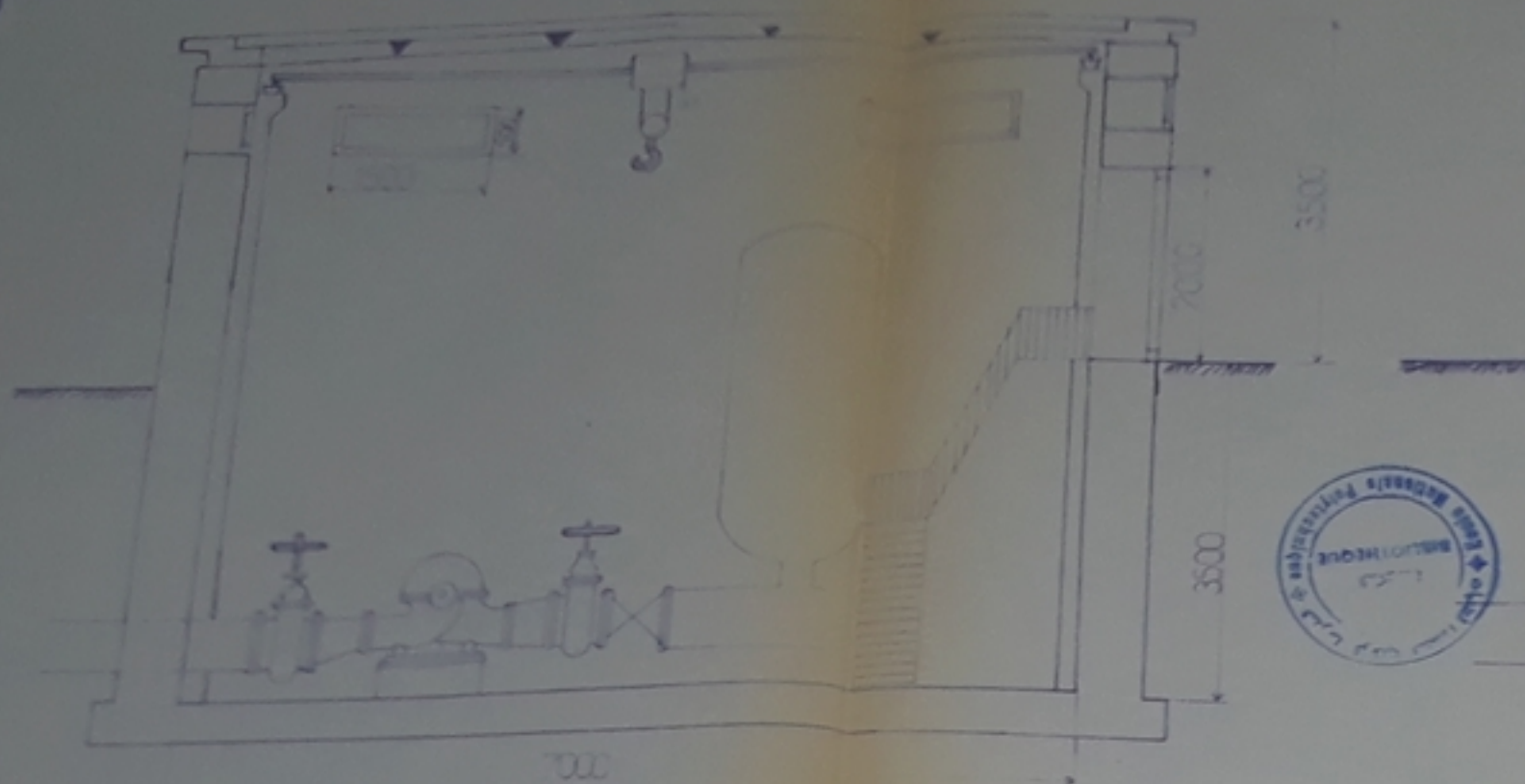
REPUBLIQUE ALGERIENNE
 DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

ecole nationale polytechnique

Departement Hydraulique

FB 00375
 .3-

| STATION DE POMPAGE DE BOUKERDENE | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Profil en long P1-R1 | horizontale 1/1000 verticale 1/100 |
| dresse par : | M'lakhdari a M'Nemmar b |
| contrôle par : | M'Tzoug zade M'Belhadj |
| promotion : | juin 87 planche n 3 |



1. Pompe
2. moteur
3. convergent
4. clapet d'aspiration
5. conduite d'aspiration
6. divergent
7. vanne
8. clapet de retenue
9. reservoir d'air
10. conduite de refoulement
11. Pant roulant



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

ecole nationale polytechnique

Departement Hydraulique



PB 009 89

-04-

STATION DE POMPAGE
DE BOUKOURDENE

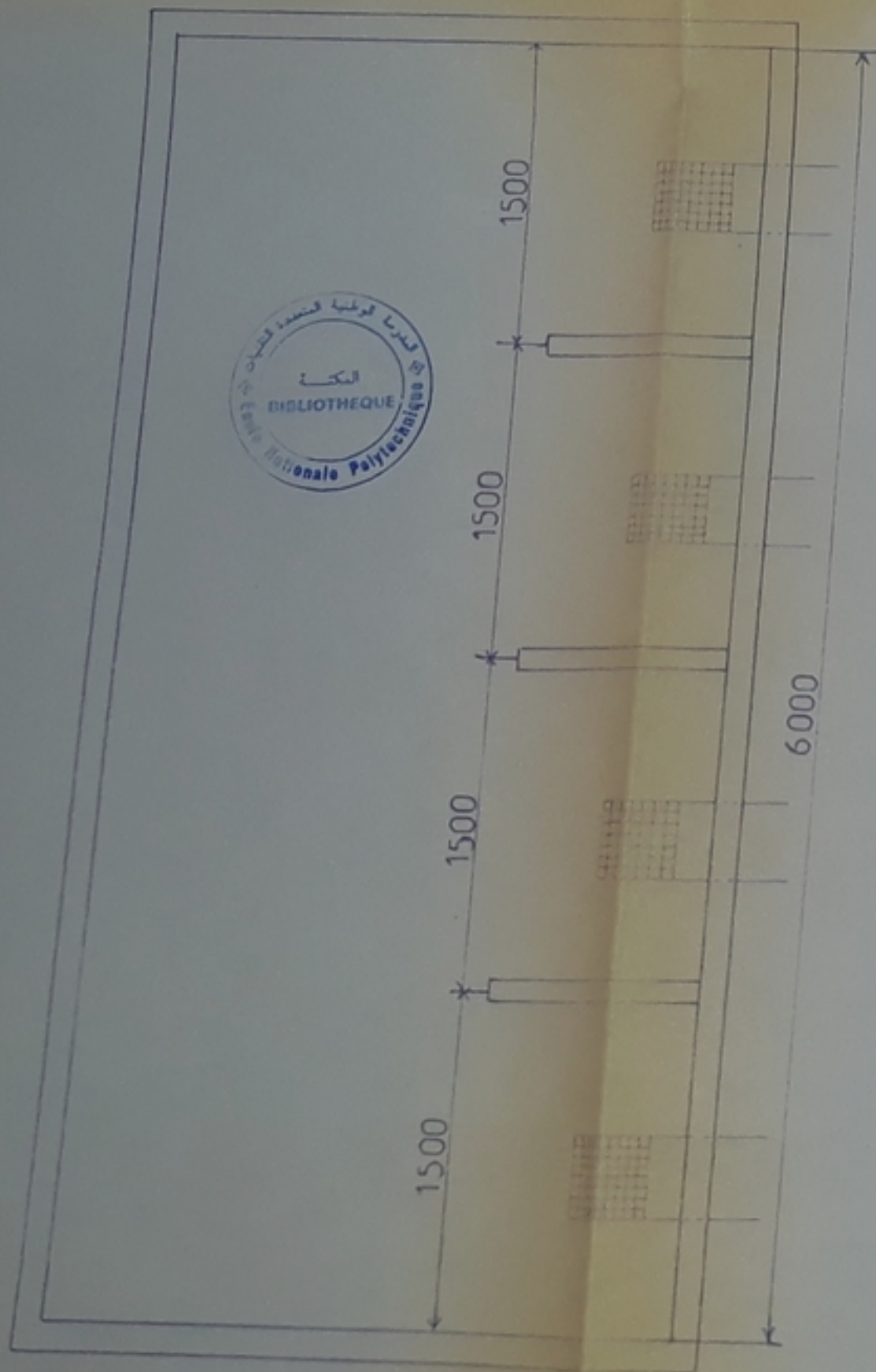
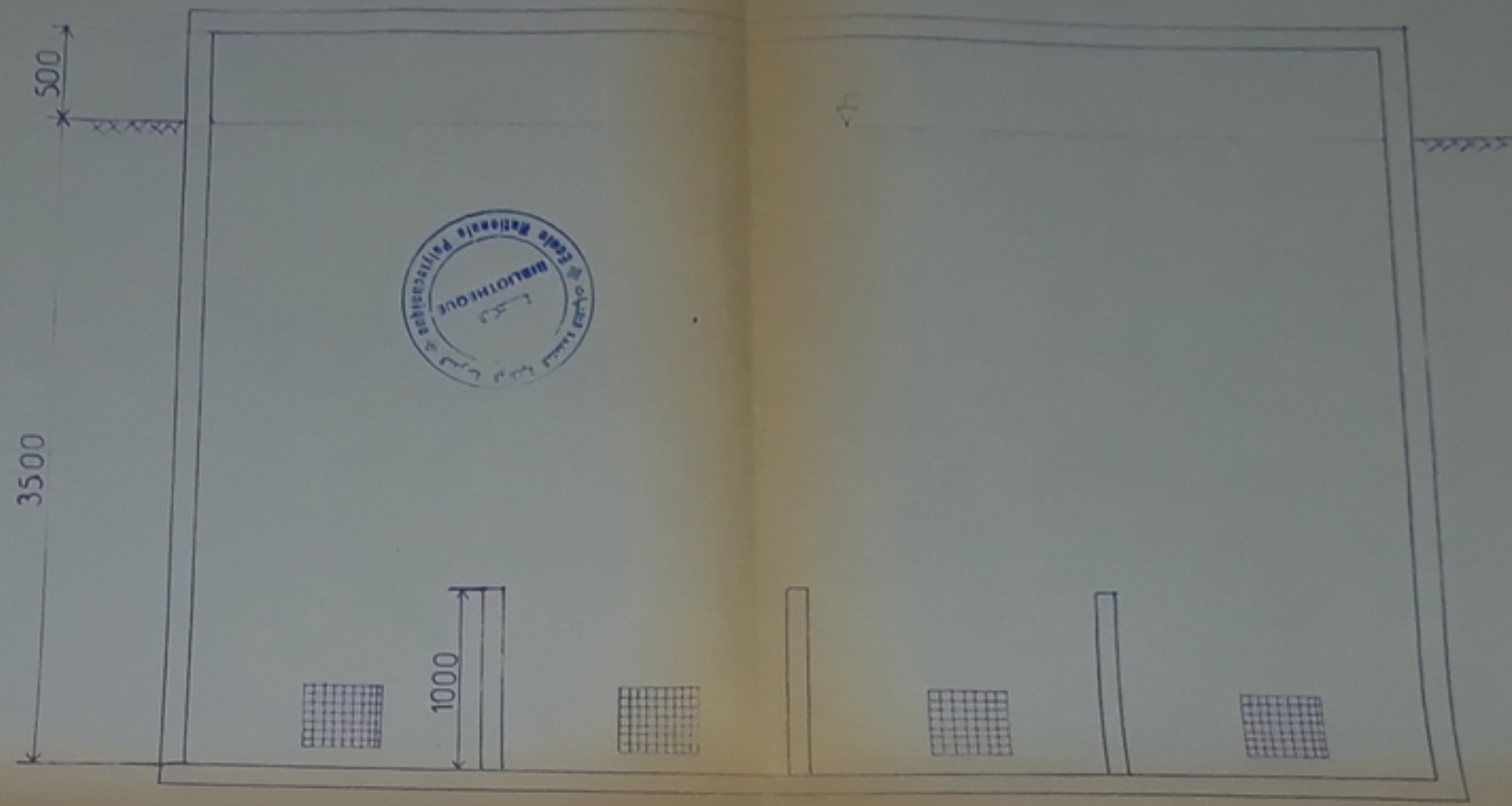
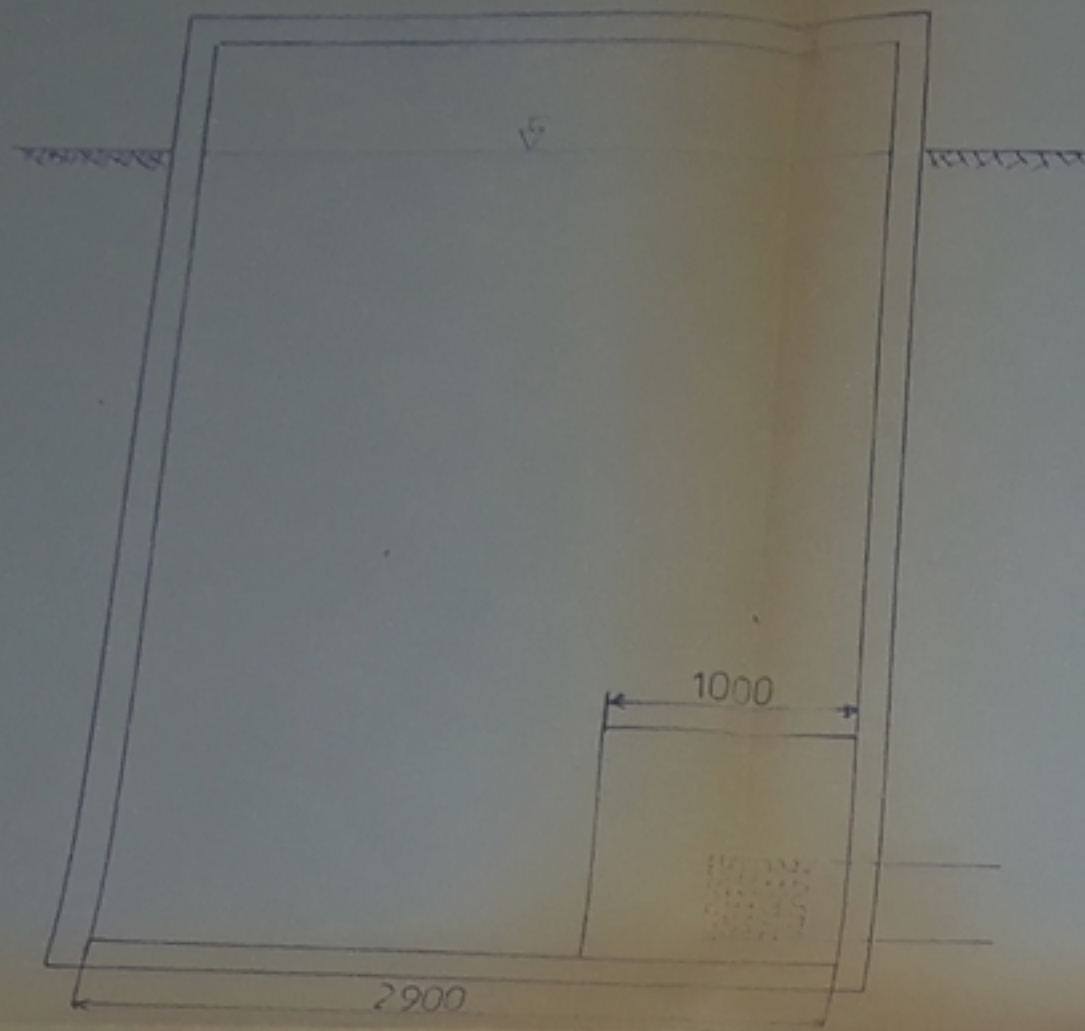
SALLE DES
MACHINES

horizontale: 1/200
verticale: 1/200

dresse par : M^r lakhdari . a M^r Nemmar . b

controlé par : M^r Tague zade M^r Belhadj

promotion: juin 89 planche n° 4



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ecole Nationale Polytechnique

Departement Hydraulique

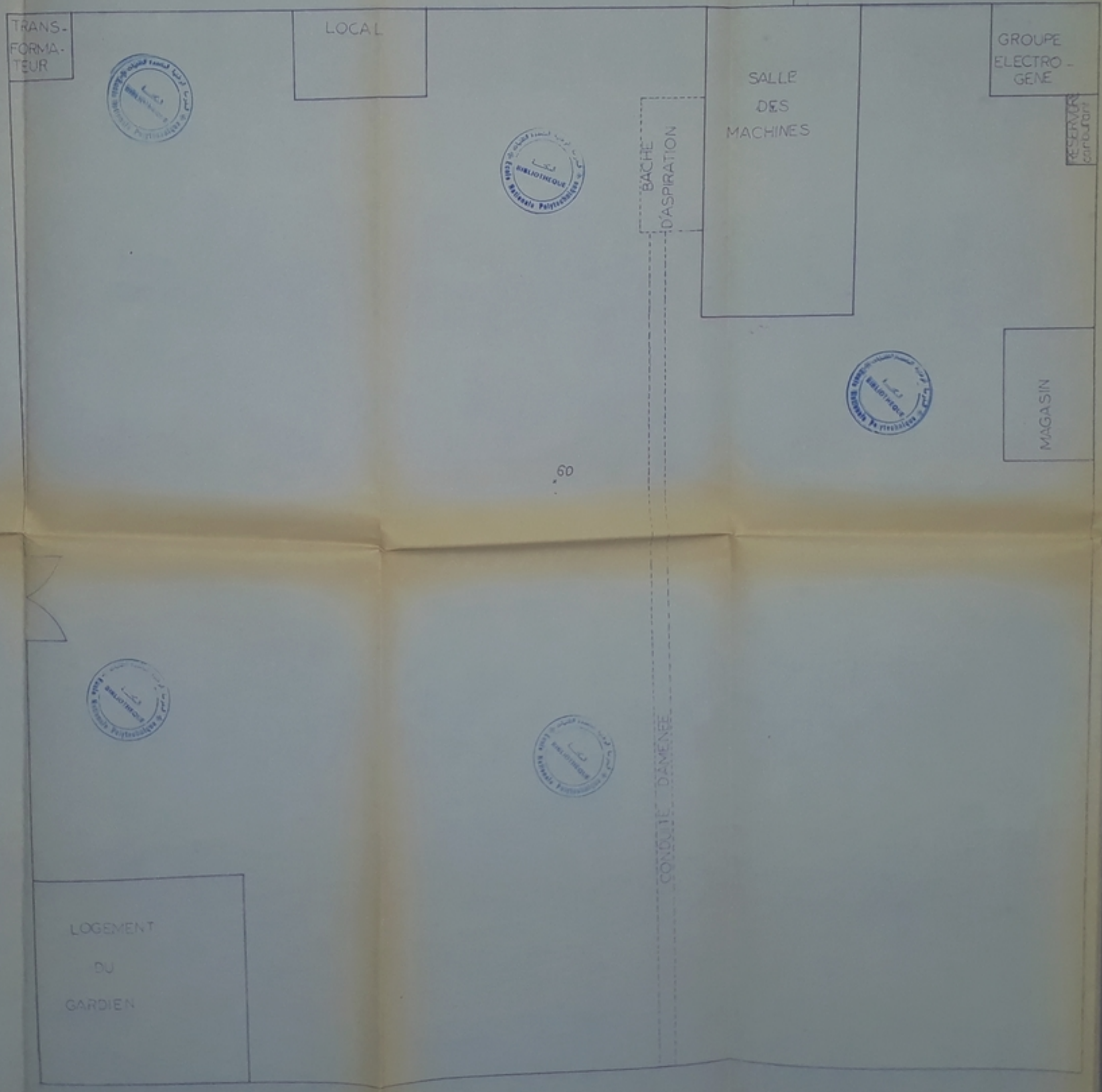
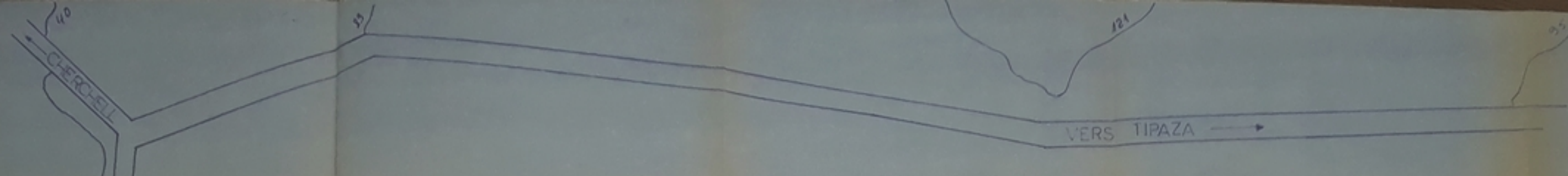
PB00379
05

STATION DE POMPAGE
DE BOUKOURDENE

Bâche d'aspiration

horizontale: 1/400
verticale: 1/400

| | | |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|
| dresse par : | M ^r lakhdari . a | M ^r Nemmar . b |
| controle par : | M ^r Tague zade | M ^r Belhadj |
| promotion : | juin 89 | planche n° 5 |



REPUBLIQUE ALGERIENNE
DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
DEPARTEMENT HYDRAULIQUE

PB 00389
.06.

| | |
|-----------------------------|----------------|
| PLAN DE SITUATION | ECHELLE 1/100 |
| Drawn par : M. Lakhdari, A. | M. Hammar, H. |
| Controlé par : M. Taguizade | M. Belhadj, O. |
| Revision | Jan 89 |
| | Feuille n° 6 |

